

**UNIJUÍ - UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO SUL**

DETEC – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EVERTON SILVEIRA MACHADO

**OTIMIZAÇÃO DE PROJETO ESTRUTURAL COM
UTILIZAÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS E
COBERTURA AUTOPORTANTE**

Ijuí/RS

2007

EVERTON SILVEIRA MACHADO

**OTIMIZAÇÃO DE PROJETO ESTRUTURAL COM
UTILIZAÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS E
COBERTURA AUTOPORTANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia
Civil apresentado como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Silva Pinheiro

Ijuí
2007

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca examinadora.

Prof. Marco Antônio Silva Pinheiro, Dr. – Orientador

Banca Examinadora

Prof. Denizard Batista de Freitas, Eng.
UNIJUÍ/Detec

Prof. Luciano Pivoto Specht, Dr. Eng.
UNIJUÍ/Detec

*Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos
que sempre me apoiaram em todos os momentos.*

AGRADECIMENTOS

Nesta caminhada passei por diversos momentos, alguns de alegria e outros de tristeza. Mas muitas coisas aprendi; visando sempre o objetivo maior: alcançar mais este sonho.

À minha mãe Odete, minha grande companheira, que sempre esteve presente com seu constante amor, carinho, dedicação, incentivo e confiança em todos os momentos.

Ao meu pai que mesmo distante, contribuiu com dedicação e incentivo.

Aos meus irmãos Simone e Eliverton, meus companheiros sempre presentes com amor, carinho e confiança em todos os momentos.

Aos meus avós Cencinato e Marina que contribuíram com carinho e palavras de incentivo constantes.

Aos tios, tias, primos, primas que de uma forma ou outra contribuíram nesta caminhada.

Ao Prof. Marco Antonio pela competência e esforço dedicado durante a orientação.

Aos demais professores por dividirem seus conhecimentos conosco.

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho

À Deus pela oportunidade de viver e realizar mais este sonho.

:

RESUMO

O aço, material nobre, conhecido há décadas teve sua inserção em ritmo muito lento no mercado da construção civil. Atualmente com novas tecnologias, tendo um excelente controle de qualidade, vem em constante crescimento e utilização em diversos tipos de obras. Para que se possa ampliar este crescimento no mercado, principalmente em obras de galpões industriais, torna-se necessário buscar alternativas que absorvam a questão custo final. Neste trabalho, referente a projetos de galpões industriais, aplica-se uma parcela das técnicas de otimização, na tentativa de reduzir o peso global da estrutura e, conseqüentemente minimizar o custo final. O estudo iniciou-se a partir de projeto original, sobre o qual foram realizadas pequenas alterações nas tipologias de vigas e pilares. Posteriormente, verificou-se o tipo de fixação da estrutura como um todo. Conclui-se com os resultados obtidos, ser possível uma redução de 10,50% do peso global da estrutura, tendo uma estruturação em forma de pórtico com utilização de peças treliçadas e fixação em solda.

PALAVRA-CHAVE: Projeto estrutural, Estrutura metálica, Otimização.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - NOMENCLATURA DOS PERFIS SOLDADOS EM SEÇÃO I FONTE: CBCA (2007)	9
FIGURA 2 - GEOMETRIA E FORMATO DOS PERFIS FONTE: CBCA (2007)	12
FIGURA 3 - LIGAÇÃO FLEXÍVEL FONTE: CBCA (2007)	15
FIGURA 4 – LIGAÇÃO SEMI-RÍGIDA FONTE: CBCA (2007).....	15
FIGURA 5 – LIGAÇÃO RÍGIDA (ENGASTE) FONTE: CBCA (2007)	15
FIGURA 6 – LIGAÇÃO SOLDADA (VIGA / PILAR) FONTE: CBCA (2007).....	16
FIGURA 7 – SOLDA DE ENTALHE (LIGAÇÃO TOPO E LIGAÇÃO EM T)	17
FIGURA 8 – SOLDA DE FILETE	17
FIGURA 9 – SOLDA DE ORIFÍCIO OU TAMPÃO	17
FIGURA 10 – LIGAÇÃO PARAFUSADA (PILAR / PLACA DE BASE) FONTE: CBCA (2007)	19
FIGURA 11 – LIGAÇÃO PARAFUSADA (VIGA / PILAR) FONTE: CBCA (2007).....	19
FIGURA 12 - MODELOS DE TELHAS E SEUS RESPECTIVOS TIPOS FONTE: IMASA (1973).....	20
FIGURA 13 - MODELOS DE CAVALETES FONTE: IMASA (1973)	22
FIGURA 14 - PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA TELHA NO CAVALETE FONTE: IMASA (1973)	23
FIGURA 15 - PARAFUSO DE SOLIDARIZAÇÃO ENTRE TELHAS FONTE: IMASA (1973)	23
FIGURA 16 – PLANTA PAVILHÃO PROJETO (OBRA 1) FONTE: IMASA (1973).....	27
FIGURA 17 – ESFORÇO HORIZONTAL SOBRE A VIGA	37
FIGURA 18 – ESFORÇO HORIZONTAL SOBRE A VIGA	42
FIGURA 19 – MODELOS DE TRELIÇA COM DIFERENTES ÂNGULOS	43
FIGURA 20 – DISPOSIÇÕES DE TRELIÇAMENTO (ÂNGULO DE 35°)	43
FIGURA 21 – ESFORÇO HORIZONTAL SOBRE A VIGA	48
FIGURA 22 – DISPOSIÇÃO DO TRELIÇAMENTO DA VIGA	63
FIGURA 23 – DISPOSIÇÃO DO TRELIÇAMENTO DO PILAR.....	64

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – HIPOTESE DE CARREGAMENTO.....	29
QUADRO 2 – RESULTANTES DAS HIPÓTESES DE CARREGAMENTO.....	29
QUADRO 3 – CONSUMO DE AÇO NOS PILARES.....	64
QUADRO 4 – CONSUMO DE AÇO NAS VIGAS.....	65

SIMBOLOGIA

Letras Romanas Maiúsculas

A	- Área da seção transversal
A_e	- Área líquida efetiva
A_{ef}	- Área efetiva
A_g	- Área bruta
A_n	- Área líquida
A_w	- Área efetiva de cisalhamento; área da seção efetiva de solda
C_b, C_m	- Coeficientes utilizados no dimensionamento à flexão simples ou composta
C_{mx}, C_{my}	- Coeficientes C_m relativos aos eixos x e y.
E	- Módulo de elasticidade do aço
I	- Momento de inércia
I_x, I_y	- Momento de inércia em relação aos eixos x e y, respectivamente
K	- Parâmetro utilizado no cálculo do comprimento de flambagem
L	- Comprimento em geral;vão
L_b	- Comprimento do trecho sem contenção lateral
M	- Momento fletor
M_{cr}	- Momento crítico
M_d	- Momento fletor de cálculo
M_{dx}, M_{dy}	- Momentos fletores de cálculo segundo os eixos x e y, respectivamente
M_n	- Resistência nominal ao momento fletor
M_{pl}	- Momento de plastificação
M_r	- Momento fletor correspondente ao início de escoamento, incluindo ou não o efeito de tensões residuais.
N	- Força normal em geral
N_d	- Força normal de cálculo
N_n	- Resistência nominal à força normal
Q	- Carga variável; coeficiente de redução que considera a flambagem local

R	- Resistência em geral
R_n	- Resistência nominal
S_d	- Solicitação de cálculo
V	- Força cortante
V_d	- Força cortante de dimensionamento
V_n	- Resistência nominal à força cortante
V_{pl}	- Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento
W	- Módulo de resistência elástica
W_x, W_y	- Módulos de resistência elásticas em relação aos eixos x e y, respectivamente
Z	- Módulo de resistência plástica
Z_x, Z_y	- Módulos de resistência plásticos referentes aos eixos x e y, respectivamente

Letras Romanas Minúsculas

a	- Distância em geral
b	- Largura em geral
b_{ef}	- Largura efetiva
b_f	- Largura da mesa
d	- Diâmetro em geral
f_u	- Limite de resistência à tração do aço, valor nominal especificado
f_y	- Limite de escoamento do aço, valor nominal especificado
h	- Altura em geral; distância entre as faces internas das mesas de perfis I e H.
k	- Coeficiente de flambagem
l	- Comprimento
r	- Raio de giração; raio
r_x, r_y	- Raios de giração em relação aos eixos x e y, respectivamente
t	- Espessura em geral
t_f	- Espessura da mesa
t_w	- Espessura da alma

Letras Gregas Minúsculas

α	- Coeficiente; ângulo
β	- Coeficiente associado ao momento resistente nominal
ε	- Deformação específica
γ	- Coeficiente de ponderação das ações
γ_a	- Peso específico do aço
λ	- Parâmetro de esbeltez; parâmetro de esbeltez para barras comprimidas
λ_p	- Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação
λ_r	- Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento, com ou sem tensão residual
μ	- Coeficiente de atrito
Φ	- Coeficiente de resistência, em geral
ρ	- Coeficiente de redução para flambagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 TEMA DA PESQUISA.....	1
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	1
1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO.....	1
1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DE ESTUDO	2
1.4.1 <i>Objetivo geral</i>	2
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
1.5 JUSTIFICATIVA	2
1.6 PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO	4
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	5
2.1 BREVE HISTÓRICO DO ELEMENTO AÇO	5
2.2 TIPOS DE AÇOS ESTRUTURAIS	5
2.2.1 <i>Aços-Carbono</i>	6
2.2.2 <i>Aços de Baixa Liga</i>	7
2.3 PROPRIEDADES DOS AÇOS	8
2.3.1 <i>Constantes Físicas do Aço:</i>	8
2.3.2 <i>Propriedades Mecânicas</i>	8
2.4 TIPOS DE PERFIS ESTRUTURAIS	9
2.4.1 <i>Perfis Soldados</i>	9
2.4.2 <i>Perfis eletrosoldados</i>	10
2.4.3 <i>Perfis laminados</i>	10
2.4.4 <i>Perfis dobrados a frio</i>	10
2.4.5 <i>Perfis Tubulares</i>	11
2.4.5.1 <i>Com costura</i>	11
2.4.5.2 <i>Sem costura</i>	11
2.5 GEOMETRIA E FORMATO DOS PERFIS.....	11
2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS ESFORÇOS	12
2.7 MÉTODOS DE CÁLCULO	13
2.7.1 <i>Método dos Estados Limites</i>	13
2.8 CARREGAMENTOS	14
2.9 TIPOS DE LIGAÇÕES.....	14
2.9.1 <i>Classificação das Ligações</i>	16
2.9.1.1 <i>Ligações Soldadas</i>	16
2.9.1.2 <i>Tipos de Solda</i>	16
2.9.1.3 <i>Ligações Parafusadas</i>	18
2.9.1.4 <i>Parafusos Comuns</i>	18
2.9.1.5 <i>Parafusos de Alta Resistência</i>	18
2.10 COBERTURA AUTOPORTANTE	20
2.10.1 <i>Modelos e Tipos de Telhas</i>	20
2.10.2 <i>Matéria-Prima</i>	21
2.10.3 <i>Acessórios de Fixação das Telhas Autoportantes</i>	21
2.10.3.1 <i>Cavaletes</i>	21
2.10.3.2 <i>Parafusos</i>	23
2.11 OTIMIZAÇÃO	24

3	METODOLOGIA.....	25
3.1	CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO	25
3.2	PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS.....	25
3.3	MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	25
3.4	PLANO DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	26
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	27
A)	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO PERFIL.....	39
C)	VERIFICAÇÃO DA FORÇA CORTANTE.....	41
D)	VERIFICAÇÃO DA FLECHA.....	41
5	ANÁLISE E ESCOLHA DA ESTRUTURA OTIMIZADA.....	63
5.1	CÁLCULO DAS FIXAÇÕES	65
5.2	CÁLCULO DA SOLDA VIGA/VIGA (EMENDA NO TOPO)	68
5.2.1	<i>Cálculo da Solda Viga/Pilar (laterais).....</i>	68
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DA PESQUISA

O tema da pesquisa é:
Otimização de projeto estrutural.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Dentre os diversos aspectos ou aplicações da otimização, o tema de estudo fica restrito a aplicação da otimização de um projeto de uma estrutura metálica com cobertura autoportante, a partir de alterações nas seções (dimensionamento) para diferentes tipos de ligações.

1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO

O uso de coberturas autoportantes por si só pode ser considerado como uma otimização de projeto, quando comparado a projetos com coberturas convencionais. No entanto, diante do mercado presente, qual a importância econômica e de segurança da otimização de um projeto estrutural com elementos metálicos e cobertura autoportante? Ou ainda, será que a adoção apenas de coberturas autoportantes é suficiente para se obter um menor custo?

1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DE ESTUDO

1.4.1 Objetivo geral

Em face do questionamento elaborado, este estudo visa a identificação de um projeto estrutural que possibilite um menor custo global e possa ser empregado em obras de engenharia civil no do estado do Rio Grande do Sul.

1.4.2 Objetivos específicos

Para o cumprimento dos objetivos gerais, são necessárias algumas metas específicas. A elaboração de alternativas de projeto estrutural de elementos metálicos representa tais objetivos específicos, os quais se destacam:

- Obtenção de momentos fletores mínimos a partir de hipóteses de continuidade em vigas;
- Identificação de esforços mínimos a partir de alteração da disposição de elementos de treliças;
- Conseqüente identificação de seções mínimas em colunas e vigas;
- Obtenção de ligações mais eficientes, a partir de uma análise comparativa entre ligações soldadas, parafusadas ou mistas;
- Cálculo do custo global da obra reduzido ou minimizado.

1.5 JUSTIFICATIVA

A construção civil é considerada hoje um dos setores que apresenta significativo crescimento nas suas diversas áreas de atuação. Vem desenvolvendo novas tecnologias para a

utilização do aço em obras de engenharia civil, abrangendo principalmente estruturas aporticadas ou treliçadas. A estrutura é parte de uma obra civil de grande responsabilidade, que exige a confiança no dimensionamento das peças, na qualidade do material a ser utilizado, bem como na execução da mesma. O grande controle de qualidade do processo de fabricação utilizado atualmente nas siderúrgicas brasileiras permite a perfeita combinação da composição química com as propriedades mecânicas do aço fabricado, proporcionando uma excelente segurança e confiabilidade nos esforços resistentes.

Para se obter uma obra com concepção estrutural de qualidade, que possibilite aliar segurança à economia, torna-se necessária a utilização de ferramentas importantes como, por exemplo, softwares de análise estrutural e dimensionamento preciso. Associado a isto, encontra-se o uso de técnicas de otimização. Este termo, de aplicações abrangentes, aqui está relacionado ao conhecimento dos tipos de materiais e seu desempenho, a partir de seções mínimas dos elementos principais de um projeto estrutural.

Entende-se por seções mínimas aquelas capazes de atender as exigências de normas de dimensionamento estrutural, bem como de levar ao menor custo.

Um outro aspecto da otimização estrutural está relacionado ao arranjo ou concepção estrutural. A preocupação com o custo final mínimo de uma obra também pode ser considerada como um processo de otimização, questão muito importante principalmente em tempos onde se discute bastante o uso adequado de materiais e novas alternativas de geração de energia.

Sob os aspectos citados, justifica-se este estudo, que se baseia na elaboração de um projeto estrutural em aço com uma concepção otimizada, utilizando seções mínimas e ligações mais eficientes, buscando obter uma significativa redução no custo global da obra.

1.6 PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO

O trabalho está organizado da seguinte forma:

1º capítulo – apresenta o tema da pesquisa junto com sua delimitação, seguida da questão de estudo, dos objetivos gerais e específicos, justificativa e sistematização do estudo;

2º capítulo – traz uma breve revisão da literatura, onde são abordados os seguintes temas: Otimização, Evolução do aço, Tipos de Seções metálicas (Topologia), Tipos de ligações, dimensionamento de estruturas metálicas e coberturas autoportantes;

3º capítulo – trata da metodologia, da forma de coleta de dados, dos materiais utilizados no estudo e dos procedimentos de cálculos e pré-dimensionamentos;

4º capítulo – apresenta uma explanação dos resultados obtidos no pré-dimensionamento, bem como a memória de cálculo para todos os elementos estruturais utilizados no trabalho;

5º capítulo – apresenta a análise do pré-dimensionamento e o dimensionamento;

6º capítulo – são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros;

7º capítulo – referências bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 BREVE HISTÓRICO DO ELEMENTO AÇO

O ferro é conhecido pela humanidade há milênios. Segundo CBCA (2007), há registros que no Oriente médio, o conhecimento da técnica de produção de ferro, exista há aproximadamente 2000 A.C. Devido a sua escassez, era considerado um material nobre, sendo utilizado somente para fabricação de armas e ferramentas. Em 1780, utilizou-se pela primeira vez o ferro fundido em construções, o qual, por sua vez, veio a ser substituído pelo ferro laminado, alguns anos depois.

Segundo Pfeil (2000), a utilização do ferro laminado ocasionou um grande número de acidentes nas obras. Com isso, buscou-se um material com melhores características, destacando-se, então, o aço.

O aço, considerado um metal ferroso, é classificado basicamente como uma liga de ferro com adição de outros componentes como silício, manganês, fósforo entre outros. Devido à sua capacidade de vencer grandes vãos, aliado à sua resistência à tração e leveza, o aço vem conquistando cada vez mais um espaço entre os consumidores tanto em estruturas como em coberturas.

2.2 TIPOS DE AÇOS ESTRUTURAIS

O aço é produzido em grande variedade de tipos e formas, podendo atender a diversas aplicações. Esta variedade surge devido à necessidade de satisfazer as exigências do mercado, referentes tanto às propriedades quanto às formas finais do produto. Existem atualmente mais de 3500 tipos de aços e 75% deles foram produzidos nos últimos 20 anos. Os aços estruturais são divididos em dois grupos: os aços-carbono e os aços de baixa liga. (CBCA 2007).

2.2.1 Aços-Carbono

Os aços-carbono são os tipos mais usados, nos quais o aumento de resistência em relação ao ferro puro é produzido pelo carbono, e em menor escala, pelo manganês (PFEIL, 2000).

CBCA (2007) afirma que a quantidade de carbono presente no aço define sua classificação. Os aços de baixo carbono possuem um máximo de 0,3% deste elemento e apresentam grande ductilidade. São bons para o trabalho mecânico e soldagem, não sendo temperáveis. São utilizados na construção de edifícios, pontes, navios, automóveis, dentre outros usos. Os aços de médio carbono possuem de 0,3% a 0,6% de carbono e são utilizados em engrenagens, bielas e outros componentes mecânicos. São aços que, temperados e revenidos, atingem boa tenacidade e resistência. Aços de alto carbono possuem mais do que 0,6% de carbono e apresentam elevada dureza e resistência após têmpera. São utilizados em trilhos, molas, engrenagens, componentes agrícolas sujeitos ao desgaste, pequenas ferramentas, etc.

Observa-se que, na construção civil, o interesse maior é sobre os aços estruturais de média e alta resistência mecânica, termo utilizado aos aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento. Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade micro-estrutural, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos (CBCA, 2007).

Segundo Pinheiro (2001), os aços para perfis de elementos estruturais da série ASTM em aço-carbono, podem ser classificados da seguinte forma:

A36 – É usado em perfis, chapas e barras para construção de edifícios, pontes e estruturas pesadas ($f_y = 250 \text{ MPa}$).

A570 – Empregado principalmente para perfis de chapa dobrada, devido à sua maleabilidade ($f_y = 230 \text{ à } 310 \text{ MPa}$).

A550 – Material empregado na fabricação de tubos retangulares ou redondos, com ou sem costura ($f_y = 232 \text{ à } 323 \text{ MPa}$).

A501 – Empregado na fabricação de tubos pesados, material com a mesma resistência do aço A36 ($f_y = 250 \text{ MPa}$).

2.2.2 Aços de Baixa Liga

Segundo Pfeil (2000), os aços de baixa liga são definidos como aços-carbono acrescidos de elementos de liga (cromo colúmbio, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio), que melhoram algumas propriedades mecânicas. Os elementos de liga proporcionam aumento de resistência do aço, através da modificação da microestrutura para grãos finos.

CBCA (2007) afirma que a tendência no sentido de se utilizar estruturas cada vez maiores tem levado os engenheiros, projetistas e construtores a utilizar aços de maior resistência, os chamados aços de alta resistência e baixa liga, de modo a evitar estruturas cada vez mais pesadas. Os aços de alta resistência e baixa liga são utilizados toda vez que se deseja:

- Aumentar a resistência mecânica permitindo um acréscimo da carga unitária da estrutura ou tornando possível uma diminuição proporcional da seção, ou seja, o emprego de seções mais leves;
- Melhorar a resistência à corrosão atmosférica;
- Melhorar a resistência ao choque e o limite de fadiga;
- Elevar a relação do limite de escoamento para o limite de resistência à tração, sem perda apreciável da ductilidade.

Segundo Pinheiro (2001), os aços para perfis de elementos estruturais da série ASTM em aços de alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica, podem ser classificados da seguinte forma:

A242 – Aços de baixa liga e alta resistência mecânica possuem o dobro da resistência à corrosão do aço-carbono, característica que permite seu uso exposto a intempéries ($f_y = 250MPa$).

A588 – Empregado em pontes e viadutos, este material caracteriza-se pelo seu baixo peso e pela resistência à corrosão, que chega a 400% da resistência do aço-carbono ($f_y = 345 MPa$).

2.3 PROPRIEDADES DOS AÇOS

As propriedades dos aços são resumidas da seguinte forma:

2.3.1 Constantes Físicas do Aço:

Observa-se que as características apresentadas a seguir são comuns a todos os tipos de aço estrutural em temperatura normal de atmosfera.

Módulo de deformação ou de Elasticidade Longitudinal: $E = 205.000 MPa$

Coefficiente de Poisson: $\nu = 0,3$

Coefficiente de dilatação térmica: $\beta = 12 \times 10^{-6} / ^\circ C$

Peso específico: $\gamma_{aço} = 77 kN/m^3$

2.3.2 Propriedades Mecânicas

Ductilidade: é a capacidade do material se deformar sob a ação de cargas;

Fragilidade: é o oposto da ductilidade. Os aços podem ter características de elementos frágeis em baixas temperaturas;

Resiliência: é a capacidade do material de absorver energia mecânica em regime elástico;

Tenacidade: é a energia total, capacidade do material de absorver energia mecânica com deformações elásticas e plásticas;

Dureza: resistência ao risco ou abrasão;

Efeito de temperatura elevada: Temperaturas elevadas modificam as propriedades físicas dos aços. Temperaturas superiores a 100°C tendem a eliminar o limite de escoamento bem definido;

Fadiga: Resistência a carregamentos repetitivos;

Corrosão: é o processo de reação do aço com alguns elementos presentes no ambiente em que se encontra exposto, sendo semelhante ao minério de ferro.

2.4 TIPOS DE PERFIS ESTRUTURAIS

2.4.1 Perfis Soldados

Os perfis soldados são obtidos através do corte de chapas de aço planas e da união das partes por meio de cordões de solda. Este processo permite a fabricação de uma grande variedade de formas e dimensões de perfis, adaptando-se melhor às especificidades do cálculo. Eles podem também ser assimétricos, com mesa superior de espessura e tamanho diferentes da inferior, se o cálculo assim o recomendar. Os perfis soldados apresentam tensões residuais devidas ao processo de solda. Os mais típicos são em forma de I, H e U; a Figura 1 apresenta a nomenclatura dos perfis soldados I (CBCA, 2007).

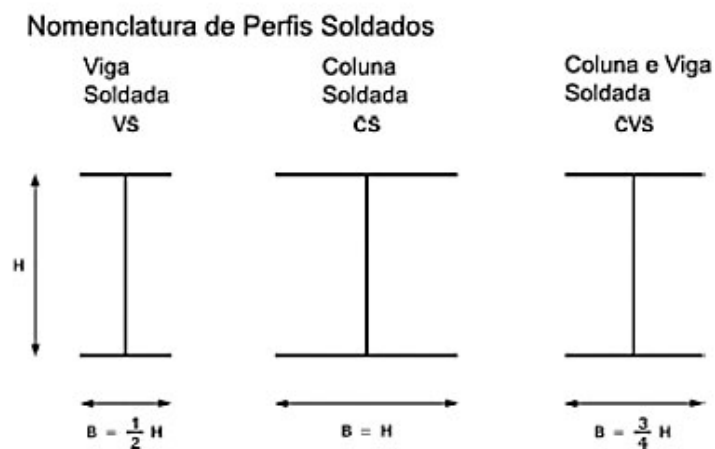


Figura 1 - Nomenclatura dos perfis soldados em seção I
Fonte: CBCA (2007)

2.4.2 Perfis eletrosoldados

Os perfis eletrosoldados também são obtidos através do corte de chapas de aço planas e pela união das partes por meio de eletrofusão. Neste caso, não há adição de material para a solda. A união é feita com o uso de corrente elétrica, sendo visível no encontro das chapas uma espécie de rebarba chamada "splash" de solda. São fabricados perfis I e H de 100 a 500mm de altura de alma e mesas de 80 a 300mm de largura (CBCA, 2007).

2.4.3 Perfis laminados

Os perfis laminados são obtidos a partir de tarugos de aço reaquecidos ao rubro e laminados a quente pelo sistema universal de laminação. Diferentemente dos perfis soldados, os perfis laminados não apresentam tensões residuais.

2.4.4 Perfis dobrados a frio

Os perfis dobrados a frio são feitos a partir de chapas planas mais finas e utilizados em construções leves, em treliças pouco solicitadas e em peças como terças e travessas. O processo de dobra pode ser feito tanto em dobradeira manual, como em perfiladeira contínua. Também podem ter diversas geometrias e é comum que os perfis de chapa fina tenham vincos para enrijecimento, como no caso do U enrijecido (CBCA, 2007).

2.4.5 Perfis Tubulares

2.4.5.1 Com costura

Os perfis tubulares com costura são obtidos através da prensagem ou calandragem de chapas e posterior soldagem das peças. Podem ser usadas chapas de diversas espessuras, porém o comprimento destas seções é limitado pelo comprimento dos cilindros de calandragem ou prensagem. Assim sendo, o comprimento do tubo será obtido pela união de diversos anéis. Perfis tubulares também podem ser soldados por resistência elétrica em sistemas contínuos de fabricação, onde a bobina de aço é desenrolada e pré-conformada por meio de roletes sucessivos que vão dando forma circular ao tubo, e soldada na seqüência. Para seções quadradas ou retangulares, utiliza-se o tubo redondo, que é pressionado nas laterais alterando a sua seção. Os perfis tubulares de diâmetros maiores são mais usados em pilares, pois suas características geométricas apresentam melhor resistência à flambagem, enquanto os de diâmetro menor são usados em treliças planas e espaciais (CBCA, 2007)

2.4.5.2 Sem costura

Os tubos de aço sem costura são produzidos a partir de barras de aço laminadas a quente e posterior laminação por mandril ou laminador redutor e conformação em tubos (CBCA, 2007).

2.5 GEOMETRIA E FORMATO DOS PERFIS

Os perfis mais comuns são fabricados em forma de I, H, U e cantoneiras L, porém podem ser obtidas outras geometrias através da combinação de dois ou mais tipos de perfis, como na composição de uma viga de seção caixão, conforme Figura 2 (CBCA, 2007).

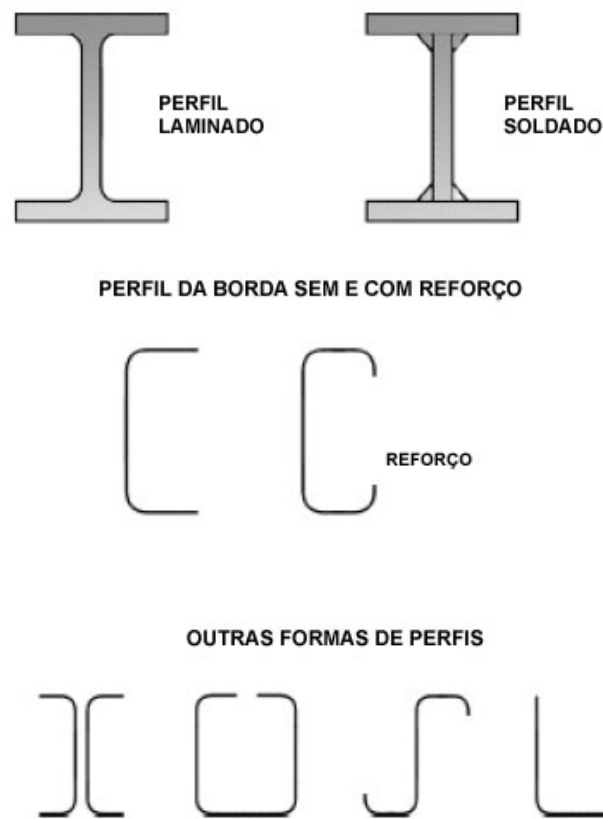


Figura 2 - Geometria e Formato dos perfis
Fonte: CBCA (2007)

2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS ESFORÇOS

Arrivebene (1994) afirma que sobre as barras de uma estrutura, os esforços podem ser classificados em:

* **Esforços externos:** originados pela aplicação de cargas externas à barra. São definidos como ativos e reativos. Podem ser forças concentradas ou distribuídas, momentos concentrados ou distribuídos.

* **Esforços solicitantes:** são produzidos pelos esforços externos que se propagam ao longo da barra. São eles:

- Força Normal (N): tem a direção do eixo da barra;

- Força Cortante (Q): tem a direção perpendicular ao eixo da barra;
- Momento Fletor (M): atua no plano perpendicular à seção transversal;
- Momento Torsor (M_t): atua no plano da seção transversal.

* **Esforços resistentes:** são característicos das seções transversais e dão origem às tensões: normal e tangencial.

- Tensões normais (σ): perpendiculares à seção, sendo tração ou compressão. São produzidos pela força normal ou momento fletor.

- Tensões tangenciais: agem no plano da seção transversal. São produzidas pela força cortante e momento fletor.

- **Tração Simples ou Axial** - alongamento na direção do eixo do elemento.
- **Compressão Simples ou Axial** - encurtamento na direção do eixo do elemento; Ressalta-se que pode ainda ocorrer o efeito de flambagem, que é ocasionado devido à perda de estabilidade do elemento à compressão axial, antes da ruptura.
- **Momento Fletor** – ocorre devido às forças aplicadas perpendicularmente ao seu eixo, provocando uma flecha.
- **Momento Torsor** – ocorre devido às forças aplicadas tangencialmente ao seu eixo, provocando uma torção.

2.7 MÉTODOS DE CÁLCULO

2.7.1 Método dos Estados Limites

A NBR 8800 adota o método dos estados limites para dimensionamento de elementos metálicos. Por estados limites entende-se a ruptura mecânica do elemento estrutural ou seu deslocamento excessivo que torne a estrutura imprestável. No método dos estados limites tem-se a inclusão dos estados elástico e plástico na formação de mecanismos nas peças estruturais (PINHEIRO, 2001). A solicitação de cálculo é considerada a partir da majoração

dos esforços atuantes e deve sempre ser menor que o esforço resistente da peça, conforme equação 1.

$$S_d \leq \Phi R_n \quad (\text{Equação 1})$$

S_d : Solicitação de cálculo

R_n : Resistência nominal do material

Φ : Coeficiente de minoração da resistência do material

2.8 CARREGAMENTOS

As cargas que atuam nas estruturas são também chamadas de ações. As ações são estipuladas pelas normas apropriadas e são conseqüências das condições estruturais. São classificadas em:

Permanentes (G): Peso próprio da estrutura, de revestimentos, pisos, acabamentos, equipamentos, etc;

Variáveis (Q): Sobrecargas de ocupação da edificação, mobília, divisórias, vento em coberturas, empuxo de terra, variação de temperatura, etc;

Excepcionais (E): Explosões, choque de veículos, abalo sísmico, etc.

2.9 TIPOS DE LIGAÇÕES

Cada elemento estrutural está unido a um outro através de um vínculo para o qual transmite sua carga. Esses vínculos ou ligações dividem-se nos seguintes tipos:

- **Vínculo Articulado móvel** - permite giro e deslocamento, conforme Figura 3.

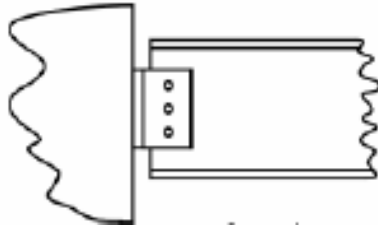


Figura 3 - Ligação Flexível
Fonte: CBCA (2007)

- **Vínculo Articulado Fixo** - permite apenas giro relativo, conforme Figura 4.

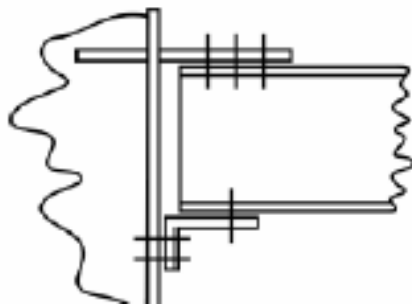


Figura 4 – Ligação Semi-rígida
Fonte: CBCA (2007)

- **Vínculo Engastado** - não permite movimentação em qualquer direção, conforme Figura 5.

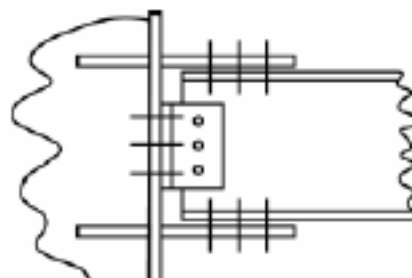


Figura 5 – Ligação Rígida (Engaste)
Fonte: CBCA (2007)

2.9.1 Classificação das Ligações

As ligações ou conexões são basicamente classificadas em soldadas e parafusadas.

2.9.1.1 Ligações Soldadas

A ligação por solda feita em fábrica ou em canteiro é normalmente mais rígida, mais simples e mais barata que a ligação parafusada.

A solda (Paris, 2003) é a união de materiais, obtida por fusão das partes adjacentes. Nas construções em aço, com utilização de solda, exige-se um soldador especialista. A Figura 6 apresenta um exemplo de ligação soldada.



Figura 6 – Ligação soldada (viga / pilar)
Fonte: CBCA (2007)

2.9.1.2 Tipos de Solda

Pinheiro (2001) determina os seguintes tipos de solda: Entalhe (Solda de Chanfro), conforme figura 7; Filete (Cordão), conforme figura 8 e Orifício (Tampão), conforme Figura 9. As ligações soldadas podem ser classificadas ainda, quanto à sua continuidade em: soldas contínuas, soldas intermitentes e soldas ponteadas. Quanto à posição de soldagem são ordenadas em: plana, horizontal, vertical e sobrecabeça.

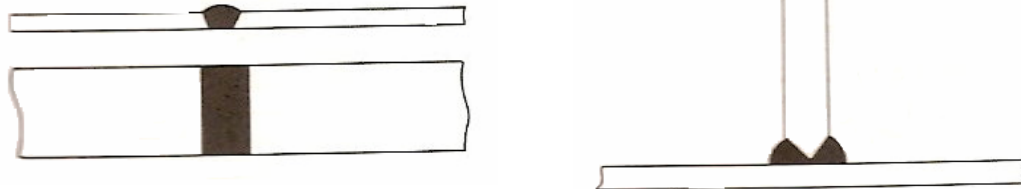


Figura 7 – Solda de Entalhe (Ligação Topo e Ligação em T)
 Fonte: Pfeil (2000)



Figura 8 – Solda de Filete
 Fonte: Pfeil (2000)

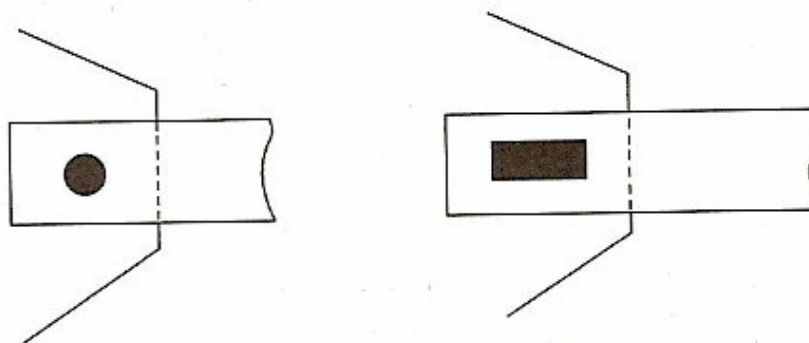


Figura 9 – Solda de Orifício ou Tampão
 Fonte: Pfeil (2000)

O Processo de soldagem a arco elétrico pode ser feito com eletrodo revestido ou por arco submerso. O primeiro é normalmente um processo manual de solda, onde o material do bastão de solda se funde e preenche o vazio entre as peças, soldando-as. O segundo, por arco submerso, é um processo automatizado de solda, utilizado em soldas contínuas nas fábricas de estruturas metálicas (CBCA, 2007).

2.9.1.3 Ligações Parafusadas

O parafuso é um meio de união que trabalha através de furos feitos nas chapas. Em estruturas metálicas usuais, encontram-se os seguintes tipos de parafusos: comuns e de alta resistência.

2.9.1.4 Parafusos Comuns

Os parafusos comuns são fabricados em aço-carbono com teor de carbono moderado. Em uma das extremidades, possuem uma cabeça quadrada ou sextavada e na outra uma rosca com porca. No Brasil utiliza-se mais freqüentemente a rosca do tipo americano, mesmo a rosca métrica sendo o tipo padronizado. São instalados com aperto, que proporciona atrito entre as chapas (PFEIL, 2000).

Os parafusos comuns são designados como ASTM A307, ou simplesmente A307, sendo utilizados para pequenas treliças, plataformas, passadiços, terças, vigas de tapamento, etc.

2.9.1.5 Parafusos de Alta Resistência

Os parafusos de alta resistência são produzidos com aços tratados termicamente. O tipo mais utilizado é o ASTM A325, de aço-carbono temperado. Quando o objetivo é impedir qualquer movimento entre as chapas, resulta numa ligação por atrito. Quando são permitidos pequenos deslizamentos, obtém-se uma ligação tipo apoio ou contato (PFEIL, 2000). As Figuras 10 e 11 apresentam exemplos de fixações parafusadas.



Figura 10 – Ligação parafusada (pilar / placa de base)
Fonte: CBCA (2007)



Figura 11 – Ligação parafusada (viga / pilar)
Fonte: CBCA (2007)

2.10 COBERTURA AUTOPORTANTE

As telhas autoportantes são produzidas através de máquinas perfiladoras (acopladas à carreta) auto transportáveis, possuindo rolos conformadores com raios de curvatura que não trincam o perfil da telha. Quando não houver possibilidade de transportar a telha em caminhões normais, a máquina perfiladora executa o serviço no próprio local da obra, perfilando a telha no comprimento necessário, o que evita eventuais transpasses longitudinais e emendas. O grande diferencial deste sistema é a capacidade de vencer vãos livres de até 40m (Manual técnico Imasa, 1973).

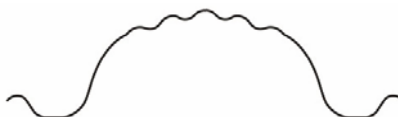
2.10.1 Modelos e Tipos de Telhas

Atualmente são fabricados pela empresa Cobimasa Indústria e Comércio Ltda, de Ijuí-RS, os modelos IMAP-650, IMAP-700 e IMAP-850, podendo variar nos tipos Plana ou Arqueada, conforme Figura 12.

IMAP-650: telha autoportante com largura útil de 0,65m (plana)



IMAP-700: telha autoportante com largura útil de 0,70m (plana ou arqueada)



IMAP-850: telha autoportante com largura útil de 0,85m (plana ou arqueada)



Figura 12 - Modelos de telhas e seus respectivos tipos

Fonte: Imasa (1973)

2.10.2 Matéria-Prima

O material utilizado para a fabricação das telhas é o aço zincado (aço revestido por uma camada de zinco em um processo de imersão a quente). Em 1837, o engenheiro Sorel atribuiu a esse processo de zincagem o nome de “galvanização”. Este material é gerado através de bobinas com variadas espessuras (varia dependendo do vão livre da obra). Possui a nomenclatura de seu peso em quilogramas (kg) ou toneladas (t) (Revista Construção Metálica, 2001).

O aço zincado (galvanizado) pode ser oferecido dependendo do tipo específico de aplicação, variando em:

* *AÇO ZINCADO COM CRISTAIS NORMAIS*: laminado revestido de puro zinco com cristais normais com aspecto de flores;

* *AÇO ZINCADO COM CRISTAIS MINIMIZADOS*: apresenta superfície mais lisa e com aparência mais regular, adequada para aplicações que exijam pintura;

* *AÇO ZINCADO PRÉ-PINTADO*: laminado revestido de zinco, mais um revestimento de pintura com primer epóxi e acabamento poliéster;

* *AÇO ZINCADO PÓS-PINTADO*: laminado revestido de zinco, mais um revestimento de pintura eletrostática com pó-poliéster.

2.10.3 Acessórios de Fixação das Telhas Autoportantes

2.10.3.1 Cavaletes

Os cavaletes são peças fabricadas em aço, tem a função de fixar a telha às vigas de apoio da cobertura. Estas peças recebem um tratamento com tinta anticorrosiva, para evitar

eventuais problemas de oxidação. Dividem-se em dois grupos: os fixos e o articulado, conforme Figura 13.



FIXO Nº 1: Utilizado somente em telhas planas IMAP-700/850
(Vão livre de até 14 metros)



FIXO Nº 2: Utilizado somente em telhas planas IMAP-850
(Vão livre de até 18 metros)



FIXO Nº 3: Utilizado somente em telhas em arco IMAP-850
(Vão livre de até 35 metros)



ARTICULADO Nº 5: Utilizado em telhas em arco IMAP-700/850
(Vão livre de até 20 metros)

Figura 13 - Modelos de cavaletes
Fonte: Imasa (1973)

2.10.3.2 Parafusos

Parafuso de fixação da telha: para fixar a telha ao cavalete, utiliza-se um parafuso em aço galvanizado 3/8 x 1 ½ com porca, arruela de fixação (3mm) e arruela de vedação (50mm), conforme Figura 14.

Parafuso de solidarização entre telhas: para fixar uma telha à outra, utiliza-se um parafuso em aço galvanizado 5/16 x 1 ½ com porca, arruela de fixação (2 mm) e arruela de vedação (30mm), conforme Figura 15.

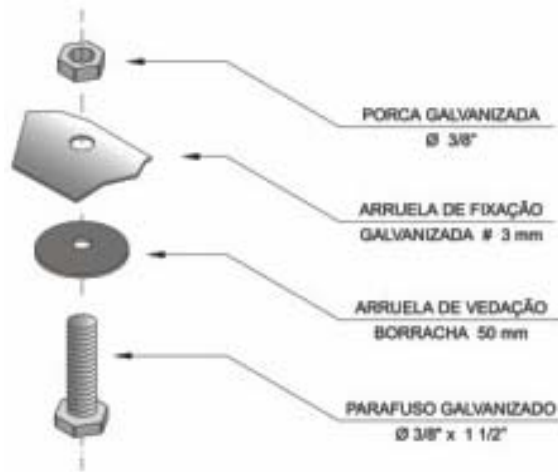


Figura 14 - Parafuso de fixação da telha no cavalete
Fonte: Imasa (1973)

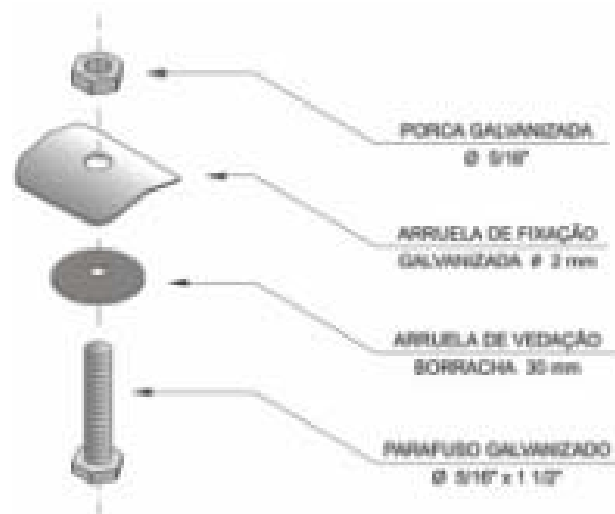


Figura 15 - Parafuso de solidarização entre telhas
Fonte: Imasa (1973)

2.11 OTIMIZAÇÃO

O problema de otimização é definido como aquele que traduz uma escolha decisional formulável matematicamente. É possível encontrar os primeiros passos da otimização em culturas de povos antigos, mas tendo o desenvolvimento de seu método a partir do século XVIII, em resposta não só aos desafios de decisão pertinentes à disputa entre o matemático Huygens e o Engenheiro da Marinha Chevalier Renau sobre o ângulo de navegações para embarcações à vela, mas porque os problemas de otimização revelaram-se essenciais ao desenvolvimento das Ciências Experimentais (TAVARES E CORREA, 1999).

O termo otimizar abrange uma complexidade em termos de alternativas e métodos, para que possam ser atendidos os seus principais objetivos, que são: formular e resolver problemas de decisão, escolhendo alternativas decisórias que melhor satisfaçam o critério de seleção pré-estabelecido. Segundo Tavares e Correa (1999), os principais métodos utilizados são:

- **Otimização iterativa sem restrições:** visa o objetivo de apresentar a trajetória adotada mais curta, ou seja, um volume mínimo de cálculos;

- **Otimização não linear:** apresenta soluções, mas é responsável por um acréscimo de dificuldade na sua resolução;

- **Otimização linear:** apresenta-se, ao contrário a não linear, de uma forma clara e de fácil resolução, pois contém linearidade tanto nos objetivos quanto nas restrições;

- **Otimização quadrática:** defini-se como um caso particular da otimização não linear. Consiste na otimização de uma função quadrática num domínio de soluções possíveis;

- **Otimização Seqüencial:** defini-se, basicamente, pelas resoluções em forma de seqüência, partindo dos problemas, mas simples até a obtenção de uma solução ótima.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo tem como propósito específico calcular e dimensionar as seções mínimas dos perfis em conjunto com as ligações mais eficientes para uma estrutura metálica, buscando dessa forma o menor custo global.

O estudo será de caráter comparativo, classificando-se como quantitativo, à medida que se busca o menor custo global do projeto. Implicitamente, a qualidade do projeto fica relacionada aquele que tem menor relação custo/benefício e melhor desempenho.

3.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Os dados iniciais são de projetos de galpões com coberturas autoportantes existentes. Tais projetos foram analisados e, posteriormente, deu-se início ao pré-dimensionamento utilizando-se de normas técnicas e manuais técnicos dos fabricantes.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

Os principais componentes utilizados na pesquisa são:

Projetos arquitetônicos de galpões, preferencialmente para cobertura metálica autoportante;

Programas de computador para análise estrutural (SAP2000, Ftool, Engemet);

Computador de mesa e portátil;

Normas e boletins técnicos;

Tabelas e catálogos técnicos com propriedades de elementos estruturais em aço (perfis, soldas e parafusos).

3.4 PLANO DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

O primeiro passo da pesquisa, desde o início da mesma refere-se à revisão bibliográfica no que tange às questões teóricas pertinentes ao tema.

Realizaram-se cálculos e dimensionamentos em, um projeto, buscando a sua otimização.

Para tanto, foram avaliados esforços nos principais elementos (esforço normal, cortante e fletor em vigas e pilares) para ligações rígidas, flexíveis e semi-rígidas;

Pequenas alterações no arranjo estrutural de elementos treliçados de vigas e pilares, também foram efetuadas no projeto original, buscando uma mudança nos esforços solicitantes.

A identificação destes esforços resultou em novos dimensionamentos das peças.

A análise quantitativa do custo global, juntamente com critérios de segurança, permitiu extrair conclusões a respeito do projeto otimizado.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 PROJETO ORIGINAL (OBRA 1)

Primeiramente serão apresentados os dados pertinentes ao primeiro projeto (Obra 1) à ser estudado. O projeto trata-se de um pavilhão para feiras e eventos. Está localizado na cidade de Ijuí, região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, totalizando uma área de 1.100 m^2 . Sua disposição é apresentada na Figura 16.

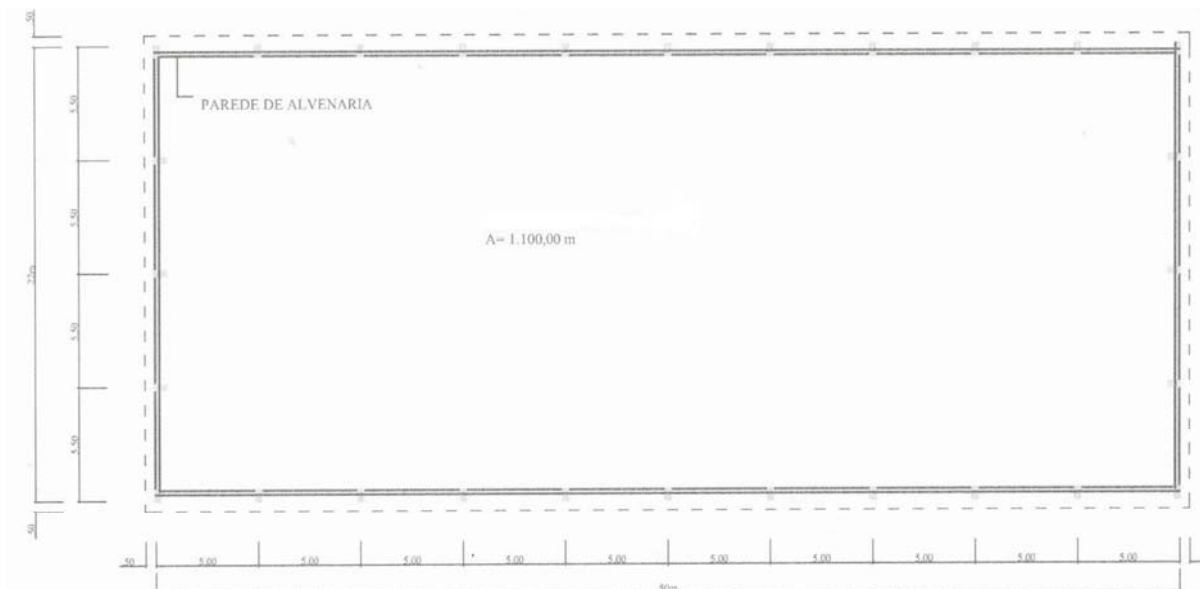


Figura 16 – Planta Pavilhão Projeto (Obra 1)
Fonte: Imasa (1973)

Geometria do pavilhão

Largura (vão livre das telhas (L):	22,00m
Comprimento do pavilhão (C):	50,00m
Flecha das telhas (F):	1,05m
Pé-direito dos pilares (P.D.):	6,00m
Interpórticos (I):	5,00m

Dados das Telhas

Telha Imasa	: IMAP-850 esp. 1.25mm (arco)
Largura útil	: 80,00 cm
Área	: 15,00 cm ²
Momento de Inércia	: 923,00 cm ⁴
Momento resistente superior	: 130,00 cm ³
Momento resistente inferior	: 83,00 cm ³

Dados dos tensores metálicos

Tensores a cada 4 telhas	: diâmetros 12,70mm a cada 3,20metros
--------------------------	---------------------------------------

Dados dos Carregamentos

Os dados referentes aos esforços de vento foram obtidos com utilização do software Engemet 99, conforme norma NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações.

Cargas de peso próprio	: 0,14 kN/m ²
Sobre carga	: 0,25 kN/m ²
Velocidade básica de ventos	: 162,02 km/h
Fatores S1, S2 e S3	: 1,00 0,82 0,95
Velocidade característica dos ventos	: 126,22 km/h
Pressão dinâmica do vento	: 76,83 kgf/m ²
Coefficientes eólicos cobertura p/ vento transversal :	
-1,00 -0,68 -0,62 -0,40 -0,40 -0,35	
Coefficientes eólicos p/ vento longitudinal :	
-0,80	
Coefficiente eólico de pressão interna :	
0,20	
Coefficiente eólico de sucção interna :	
-0,20	

Hipóteses de Carregamento

Quadro 1 – Hipóteses de carregamento

Hipótese	P. Próprio	S. Carga	V. Transv.	V. longit.	P. interna	S. iterna
01	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
03	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
04	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
05	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00

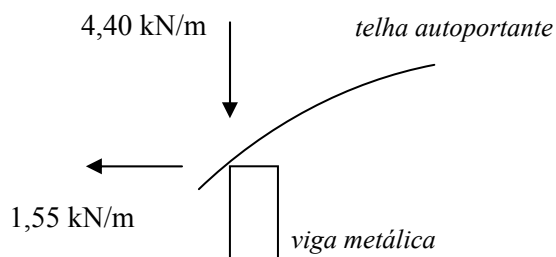
Ações das telhas na viga superior

Quadro 2 – Resultantes das hipóteses de carregamento

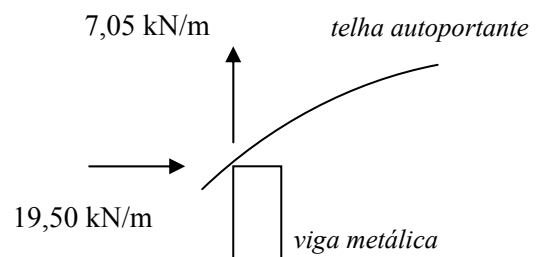
Hipótese	H (kN/m)	V (kN/m)	H (kN/m)	V (kN/m)
1	-1,52	-4,37	1,52	-4,37
2	8,44	4,28	-8,56	2,27
3	13,21	6,02	-13,33	4,01
4	3,51	2,56	-3,63	5,50
5	19,47	7,01	-19,47	7,01

Esforços adotados para cálculo da viga

*Carregamentos sem ação de vento
Conforme hipótese 1*



*Carregamentos com ação de vento
Conforme hipótese 5*



4.2 ALTERAÇÕES NA TIPOLOGIA DA VIGA

Com base no projeto original do pavilhão, iniciou-se o estudo de alterações, utilizando para a viga, um perfil tipo “I”. Posteriormente, o arranjo apresenta-se com seção tipo “Caixão”, formado por elementos de perfil tipo “C” enrijecido e já a terceira tipologia é formada por elementos treliçados, tendo como peças principais perfil “C” e Cantoneiras.

O roteiro de cálculo com os devidos métodos para cada tipologia, esta disposto da seguinte forma: primeiramente lançamos os carregamentos verticais, com a utilização do software Ftool, com o objetivo de obtermos os esforços, momentos e reações. Após iniciamos o pré-dimensionamento do perfil, seguido de suas verificações. Então, partimos para a verificação quanto ao carregamento horizontal.

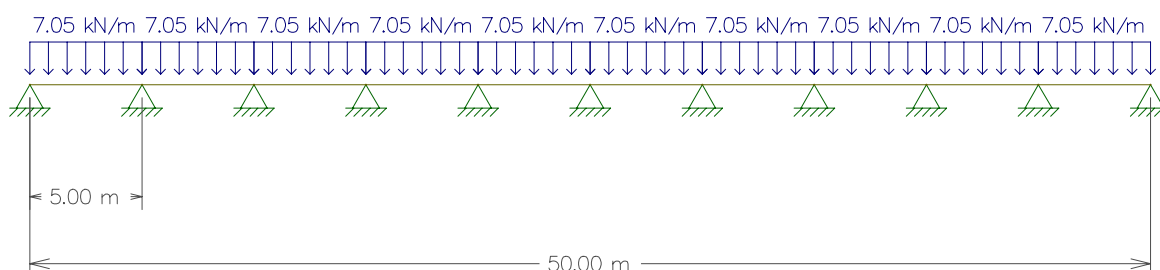
A memória de cálculo para cada tipologia está apresentado logo à seguir.

4.2.1 Viga Tipo Perfil “I”

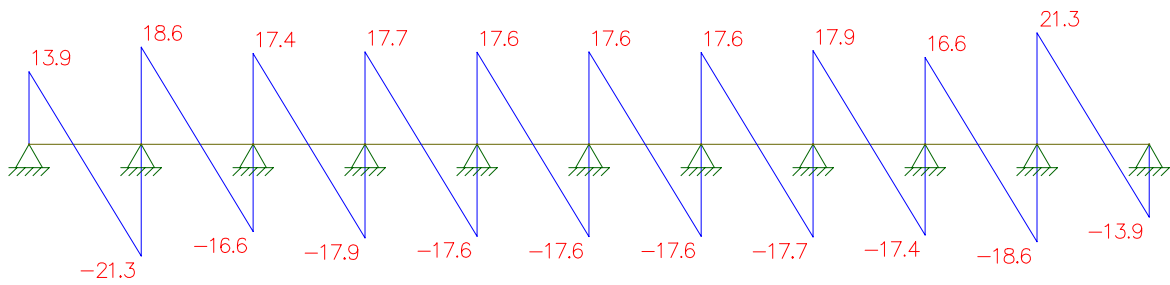
4.2.1.1 Carregamento Vertical

Dados: $L = 50,00m$; $q = 7,05kN/m$

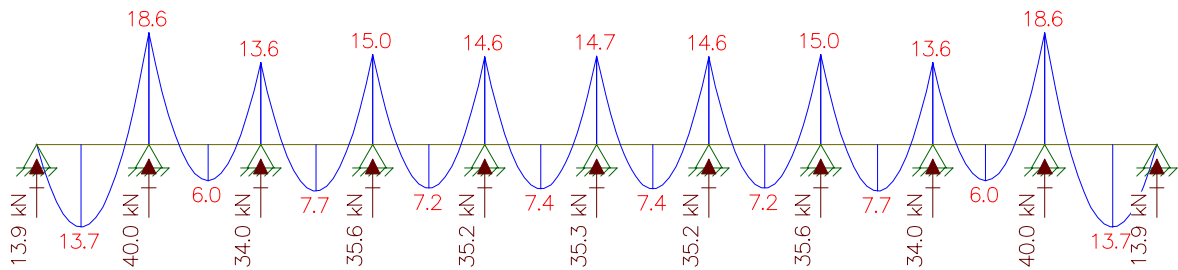
Carregamentos



Esforços Cortantes



Momentos e Reações



$$V = 21,30kN$$

$$M = 18,60kN.m$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$V_d = V \cdot \gamma = 21,30kN \cdot 1,4 = 29,82kN$$

$$M_d = M \cdot \gamma = 18,60kN.m \cdot 1,4 = 26,04kN.m$$

a) Pré- dimensionamento do perfil

$$\text{Adotando : } \lambda \leq \lambda_p = \phi_b \cdot M_n = \phi_b \cdot M_p = \phi_b \cdot Z \cdot f_y = M_d$$

$$Z = \frac{M_d}{\phi_b \cdot f_y} = \frac{26,04 \text{ kN.m.} \cdot 10^3}{0,9 \cdot 250 \text{ MPa} \cdot 10^6} = 0,0001157 \text{ m}^3 = 115,70 \text{ cm}^3$$

$$Z \approx 1,12W \rightarrow W = \frac{Z}{1,12} = \frac{115,70 \text{ cm}^3}{1,12} \approx 103,30 \text{ cm}^3$$

Adotado : Perfil "I" W 150 x 24,0

$$A = 31,50 \text{ cm}^2$$

$$I = 1.384 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 173,00 \text{ cm}^3 \quad Z = 197,60 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 6,63 \text{ cm}$$

$$I_y = 183,00 \text{ cm}^4$$

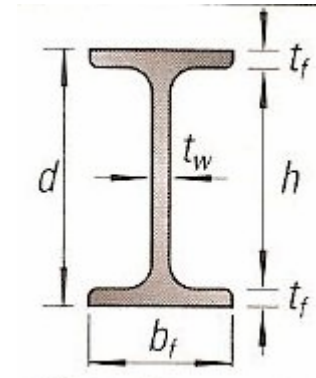
$$W_y = 35,90 \text{ cm}^3 \quad Z = 55,80 \text{ cm}^3$$

$$r_y = 2,41 \text{ cm}$$

$$b_f = 8,46 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,92 \text{ cm}$$

$$t_w = 0,584 \text{ cm}$$



b) Verificação da flambagem local da alma

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{160 \text{ mm} - 2 \cdot (10,30 \text{ mm})}{6,60} = 21,12$$

$$\lambda_{pa} = 3,5 = \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,5 \sqrt{\frac{205 \cdot 10^9}{250 \cdot 10^6}} = 100,22$$

$\lambda_a < \lambda_{pa} \rightarrow$ **a viga é compacta quanto a alma Ok**

$$M_{na} = M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$Z = b \cdot t_f (h - t_f) + \frac{t_o}{4} (h - 2t_f)^2$$

$$Z = 102 \cdot 10,30 \cdot (160 - 10,30) + \frac{6,6}{4} (160 - 2 \cdot 10,30)^2$$

$$Z = 0,18934 \text{ cm}^3$$

$$M_{na} = 0,18934 \cdot 10^{-6} \cdot (250 \cdot 10^6) = 47,34 \text{ kN.m}$$

$$\phi_b M_{na} = 0,9 \cdot 47,34 = 42,60 \text{ kN.m}$$

$$M_n = 42,60 \text{ kN} > 26,0 \text{ kN} = M_d \quad \mathbf{Ok}$$

c) Verificação da flambagem local da mesa

$$\lambda_m = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{102/2}{10,30} = 4,95$$

$$\lambda_{pm} = 0,38 = \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{205 \cdot 10^9}{250 \cdot 10^6}} = 10,88$$

$$\lambda_m < \lambda_{pm} \rightarrow \mathbf{a \text{ viga é compacta quanto à mesa} \quad Ok}$$

$$M_{na} = M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$Z = b.t_f(h - t_f) + \frac{t_o}{4}(h - 2t_f)^2$$

$$Z = 102.10,30.(160 - 10,30) + \frac{6,6}{4}(160 - 2.10,30)^2$$

$$Z = 189.338,21\text{mm}^3$$

$$Z = 0,18934\text{cm}^3$$

$$M_{na} = 0,18934.10^{-6} \cdot (250.10^6) = 47,34\text{kN.m}$$

d) Verificação da flambagem lateral com torção

Travado a cada L_b , sendo $L_b = 5,00$ m

$$\lambda_{lt} = \frac{L_b}{r_y} = \frac{500}{2,41} = 207,50$$

$$\lambda_{plt} = 1,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,75 \sqrt{\frac{205.10^9}{250.10^6}} = 50,11$$

$\lambda_{Lt} > \lambda_{PLt}$: a viga não possui elementos compactos.

$$\lambda_{rlt} = \left(\frac{0,707.C_b \cdot \beta_1}{M_{rlt}} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{4\beta_2}{C_b^2 \cdot \beta_1^2} \right) (M_{rlt})^2}}$$

$$\lambda_{rlt} = \lambda_{plt} \cdot r_y$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{GE} \sqrt{I_t A_g}$$

$$G = 0,385E$$

$$M_{rlt} = (f_y - f_r)W$$

$$f_r = 115 \text{MPa}$$

$$\beta_2 = \frac{\pi^2 E}{4G} \cdot \frac{A_g (d - t_f)^2}{I_t} = 6,415 \cdot \frac{A_g (d - t_f)}{I_t}$$

$$I_t = \frac{\sum b.t^3}{12} = 2 \frac{(10,20 \cdot 1,03^3)}{12} + \frac{(0,66 \cdot 13,94^3)}{12} = 150,83 \text{cm}^4$$

$$\beta_1 = \pi \sqrt{0,385 \cdot (205 \cdot 10^9)} \cdot \sqrt{(150,83 \cdot 10^{-8}) \cdot 31,50 \cdot 10^{-4}} = 27530431,37$$

$$\beta_2 = 6,415 \cdot \frac{(31,50 \cdot 10^{-4}) \cdot ((16,00 - 10,30) \cdot 10^{-2})}{150,83 \cdot 10^{-8}} = 300,24$$

$$\lambda_{r_{lt}} = \left(\frac{0,707 \cdot 27530431,37}{23.355} \right) \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{4 \cdot 300,24}{1^2 \cdot 27530431,37^2} \right) \cdot (23.355)^2}} = 1.175,07$$

$\lambda_{p_{lt}} < \lambda_{lt} < \lambda_{r_{lt}} \rightarrow$ viga com elementos semicompatos

$$M_{n_{lt}} = M_{p_l} - (M_{p_l} - M_{r_{lt}}) \left(\frac{\lambda_{lt} - \lambda_{p_{lt}}}{\lambda_{r_{lt}} - \lambda_{p_{lt}}} \right)$$

$$M_{p_l} = Z \cdot f_y$$

$$M_{p_l} = 189,34 \cdot 10^{-6} \cdot 250 \cdot 10^6 = 47.335 \text{Nm}$$

$$M_{r_{lt}} = 23.355 \text{Nm}$$

$$M_{nl} = 47.335 - (47.335 - 23.335) \left(\frac{207,50 - 50,11}{1.175,07 - 50,11} \right) = 44.217,60 Nm$$

$$\phi \cdot M_{nl} = 0,9 \cdot 44.217,60 Nm = 39,79 kNm$$

$$M_{nl} = 39,79 kNm > 26,04 kNm = M_d \quad \underline{\text{OK}}$$

e) Verificação da força cortante

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{(16,00 - 2 \cdot 1,03)}{0,66} = 21,12$$

$k = 5,34$ (valor definido em função de não possuir enrijecedores).

$$\lambda_{pv} = 1,08 \sqrt{\frac{KE}{f_y}} = 1,08 \sqrt{\frac{5,34 \cdot 205 \cdot 10^9}{250 \cdot 10^6}} = 71,47$$

$$\lambda_a < \lambda_{pv} \rightarrow V_n = V_{pl} = 0,6 A_w f_y$$

$$V_n = 0,6 \cdot (16,00 - 2 \cdot 1,03) \cdot 0,66 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \cdot 10^6$$

$$V_n = 138,00 kN$$

$$\phi_b V_n = 0,9 \cdot 138,00 = 124,20 kN$$

$$V_n = 124,20 > 29,82 = V_d \quad \underline{\text{OK}}$$

f) Verificação da flecha

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{180} = \frac{5000}{180} = 27,77mm$$

$$\delta = 15,90 \rightarrow \text{(Obtido pelo método dos deslocamentos)}$$

$$\text{Portanto:} \quad \delta = 15,90 < 27,77 = \delta_{m\acute{a}x} \quad \underline{\text{OK}}$$

4.2.1.2 Carregamento Horizontal

O carregamento apresentado neste cálculo, está aplicado na extremidade superior da viga, conforme mostra a Figura 17.

$$q = 19,50kN$$

$$C = 5,00m$$

$$L = 0,16m$$

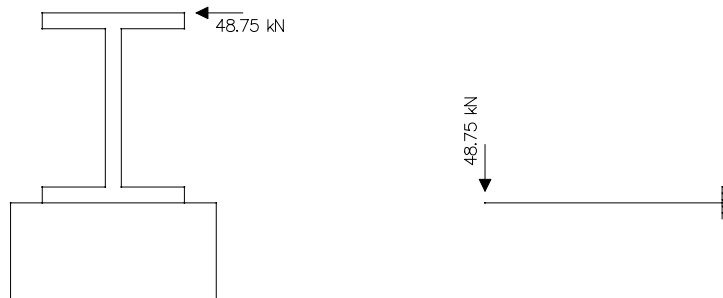


Figura 17 – Esforço Horizontal sobre a Viga

$$F = \frac{(q.C)}{2} = \frac{19,50kN.5,00m}{2} = 48,75kN$$

$$M = F.L = 48,75kN.0,16m = 7,8kNm$$

$$M_d = M.\gamma = 7,8kNm.1,4 = 10,92kNm$$

Cálculo do Z (y-y)

$$Z = \frac{b^2 t_f}{2} + \frac{1}{4}(h - 2t_f)t_w^2 = \frac{102^2 \cdot 10,30}{2} + \frac{1}{4}(160 - 2 \cdot 10,3)(6,6^2) = 55,10cm^3$$

$$M_{pl} = Z.f_y = 55,10 \cdot 10^{-6} \cdot (250 \cdot 10^6) = 13,77kN.m$$

$$M_{pl} = 13,77 > 10,92 = M_d \quad \mathbf{OK}$$

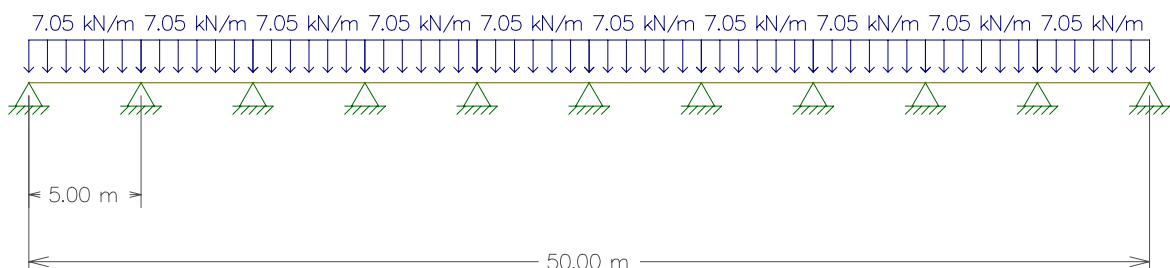
4.2.2 Viga Tipo “Caixão”

4.2.2.1 Carregamento Vertical

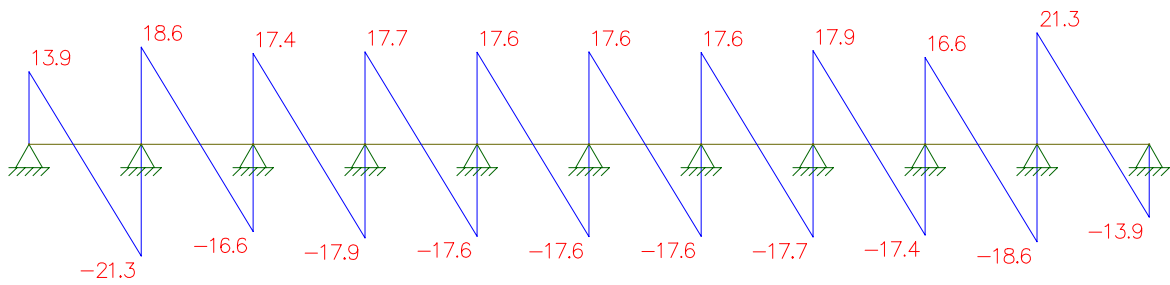
Dados: $L = 50,00m$

$$q = 7,05kN/m$$

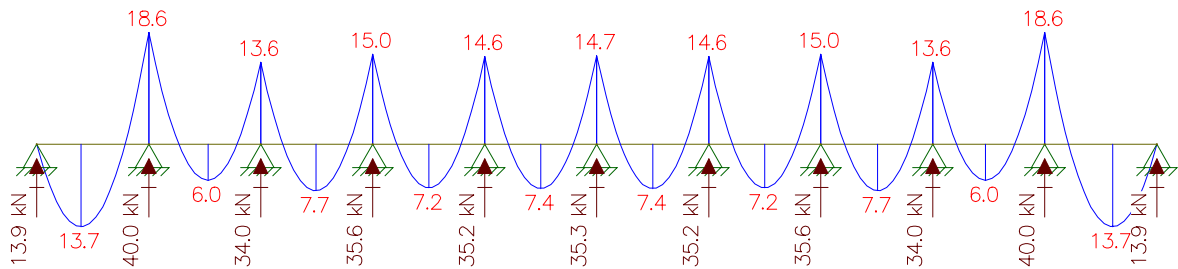
Carregamentos



Esforços Cortantes



Momentos e Reações



$$V = 21,30kN$$

$$M = 18,60kN.m$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$V_d = V \cdot \gamma = 21,30kN \cdot 1,4 = 29,82kN$$

$$M_d = M \cdot \gamma = 18,60kN.m \cdot 1,4 = 26,04kN.m$$

a) Pré-dimensionamento do perfil

$$\text{Adotando : } \lambda \leq \lambda_p = \phi_b \cdot M_n = \phi_b \cdot M_p = \phi_b \cdot Z \cdot f_y = M_d$$

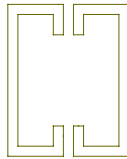
$$Z = \frac{M_d}{\phi_b \cdot f_y} = \frac{26,04 \text{ kNm} \cdot 10^3}{0,9 \cdot 250 \text{ MPa} \cdot 10^6} = 0,0001157 \text{ m}^3 = 115,70 \text{ cm}^3$$

$$Z \approx 1,12W \rightarrow W = \frac{Z}{1,12} = \frac{115,70 \text{ cm}^3}{1,12} \approx 103,30 \text{ cm}^3$$

$$W = \frac{103}{2} = 51,5 \text{ cm}^3$$

(O valor de W é dividido em 2, pois a viga Caixão será formada por dois perfis “C” enrijecidos.

Adotado : Perfil 2x “C” enrijecido 20 x 60 x 150 x 60 x 20 x 4,18mm



b) Verificação da relação largura/espessura

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{máx}} = 27$$

$$\frac{b}{t} = \frac{111,64}{4,18} = 26,70$$

$$\text{Portanto: } \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{máx}} > \left(\frac{b}{t}\right)$$

Seção Super Compacta

$$M_{pl} = Z \cdot f_y \quad ; \quad Z = 115 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl} = 115 \cdot 250 \cdot 10^6 = 28.750 \text{ Nm} = 28,75 \text{ kNm}$$

$$M_{pl} = 28,75 \text{ kNm} > 26,04 \text{ kNm} = M_d \quad \text{OK}$$

c) Verificação da força cortante

$$\lambda_a = \frac{h}{t_w} = \frac{(150)}{4,18} = 35,90$$

$k = 5,34$ (valor definido em função de não possuir enrijecedores).

$$\lambda_{pv} = 1,08 \sqrt{\frac{KE}{f_y}} = 1,08 \sqrt{\frac{5,34 \cdot 205 \cdot 10^9}{250 \cdot 10^6}} = 71,47$$

$$\lambda_a < \lambda_{pv} \rightarrow V_n = V_{pl} = 0,6 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_n = 0,6 \cdot (2 \cdot 150 \cdot 4,18 \cdot 10^{-6} \cdot 250 \cdot 10^6)$$

$$V_n = 188,10 \text{ kN}$$

$$\phi_b V_n = 0,9 \cdot 188,10 = 169,29 \text{ kN}$$

$$V_n = 169,29 \text{ kNm} > 29,82 \text{ kNm} = V_d \quad \text{OK}$$

d) Verificação da flecha

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{180} = \frac{5000}{180} = 27,77 \text{ mm}$$

$$\delta = 19,20 \text{ mm} \rightarrow \text{(Obtido pelo método dos deslocamentos)}$$

$$\delta = 19,20 \text{ mm} < 27,77 \text{ mm} = \delta_{m\acute{a}x} \quad \text{OK}$$

4.2.2.2 Carregamento Horizontal

O carregamento apresentado neste cálculo está aplicado na extremidade superior da viga, conforme mostra a Figura 18.

$$q = 19,50kN$$

$$C = 5,00m$$

$$L = 0,15m$$

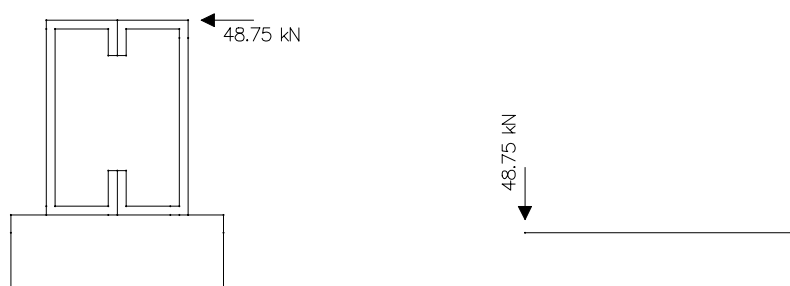


Figura 18 – Esforço Horizontal sobre a Viga.

$$F = \frac{(q.C)}{2} = \frac{19,50kN.5,00m}{2} = 48,75kN$$

$$M = F.L = 48,75kN.0,15m = 7,31kNm$$

$$M_d = M.\gamma = 7,31kNm.1,4 = 10,24kNm$$

Cálculo do Z

$$Z = \frac{bh^2}{4} \left[1 - \left(1 - \frac{2t_o}{b} \right) \left(1 - \frac{2t_f}{h} \right)^2 \right] = 98,66cm^3$$

$$M_{pl} = Z.f_y$$

$$M_{pl} = 98.10^{-6}.250.10^6 = 24,66kNm$$

$$M_{pl} = 24,66kNm > 10,24kNm = M_d \quad \underline{\text{OK}}$$

4.2.3 Viga Tipo Treliçado

No estudo da viga treliçada, foram analisados quatro modelos com angulações diferentes para as diagonais em relação aos banzos. Os modelos estão apresentados na Figura 19.

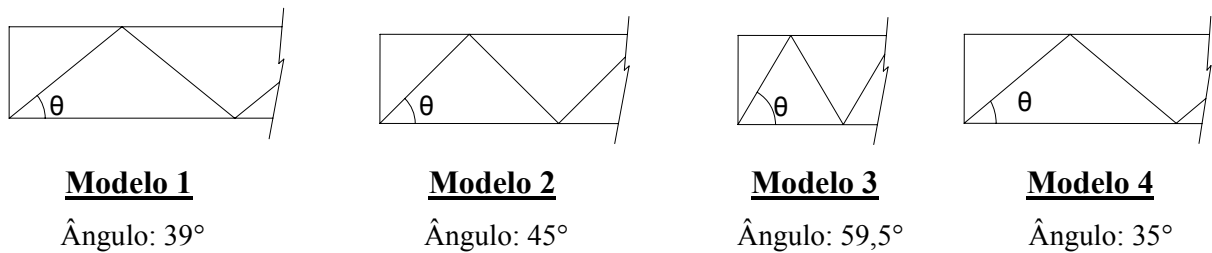


Figura 19 – Modelos de treliça com diferentes ângulos

Após a análise dos modelos, identificou-se o que melhor resultado apresentou em relação ao comprimento da barra (diagonal) e principalmente aos esforços solicitados.

Com a escolha já realizada, aplicou-se este ângulo em três diferentes disposições de treliçamento, conforme Figura 20.

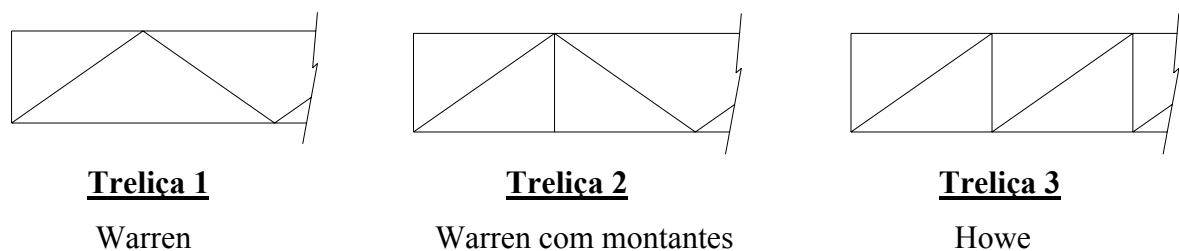


Figura 20 – Disposições de Treliçamento (ângulo de 35°)

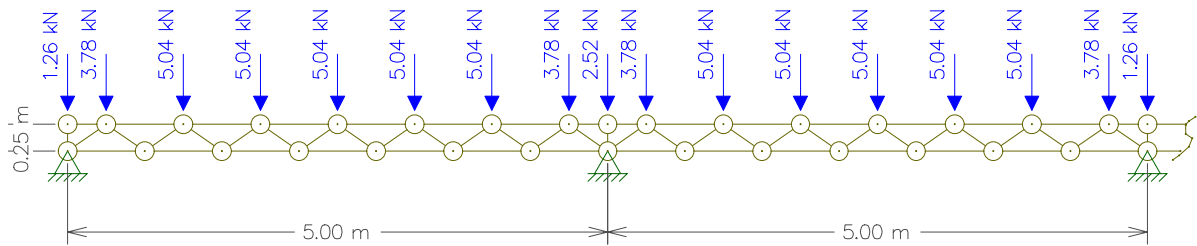
Aplicaram-se os devidos carregamentos para cada tipo de disposição, onde foram obtidos os esforços nas barras. Verificou-se, com um pré-dimensionamento, o consumo de aço para cada tipo. A disposição que atendeu a todos os requisitos pertinentes à segurança e oferecendo menor consumo de aço, em função dos menores esforços de tração e compressão das barras, é a disposição da Treliça 1. O estudo segue para o dimensionamento da treliça escolhida.

4.2.3.1 Carregamento Vertical

4.2.3.1.1 Cálculo das diagonais (Compressão)

Dados: $L = 50,00m$
 $q = 7,05kN / m$
 $\lambda = 140$

Carregamentos



Obs.: em função do espaço ocupado, o modelo do carregamento esta sendo apresentado somente com dois trechos, do total de dez.

$$N = 33,90kN \text{ (maior esforço à compressão)}$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$N_d = N \cdot \gamma = 33,90kN \cdot 1,4 = 47,46kN$$

$$L_{barra} = 0,435m$$

$$L_{barra} = 0,435m - 0,05 \text{ (solda)}$$

$$L_{barra} = 0,3850m = 38,50cm$$

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

$$140 = \frac{1,0 \times 38,50}{r} \rightarrow r = 0,275cm$$

Adotado: Perfil Cantoneira 31,75 x 31,75 # 3,17mm

a) Verificação da relação largura/espessura

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{máx}} = 13 \qquad \frac{b}{t} = \frac{31,75}{3,17} = 10,02$$

Portanto: $\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{máx}} > \left(\frac{b}{t}\right)$ **Ok** \rightarrow então $Q = 1,0$

$$\lambda = \frac{KL}{r} = \frac{1,0 \cdot 38,5}{0,64} = 60,15$$

$$\lambda = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{Qf_y}{E}} = \frac{\lambda}{3,14} \sqrt{\frac{1,0 \cdot 250 \cdot 10^6}{205 \cdot 10^9}} = 0,0111\lambda$$

$$\lambda = 0,0111 \cdot 60,15 = 0,67 \quad \rightarrow \quad \rho = 0,738$$

$$N_n = \rho \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y$$

$$N_n = 0,738 \cdot 1,0 \cdot (1,93 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 35,60 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot 35,60 = 32,04 \text{ kN}$$

Neste caso são consideradas duas unidades (cantoneiras), então:

$$\phi \cdot N_n = 2 \cdot 32,04 \text{ kN} = 64,08 \text{ kN}$$

$$N_n = 64,08 \text{ kNm} > 47,46 \text{ kNm} = N_d \quad \text{OK}$$

4.2.3.1.2 Cálculo das diagonais (Tração)

$$N = 27,30kN \text{ (maior esforço à tração)}$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$N_d = N \cdot \gamma = 27,30kN \cdot 1,4 = 38,22kN$$

a) Resistência da peça à tração

$$N_n = A_g \cdot f_y$$

$$N_n = (1,93 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 48,25kN$$

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot 48,25 = 43,43kN$$

Neste caso são consideradas duas unidades (cantoneiras), então:

$$\phi \cdot N_n = 2 \cdot 43,43kN = 86,86kN$$

$$N_n = 86,86kNm > 38,22kNm = N_d \quad \underline{\text{OK}}$$

4.2.3.1.3 Cálculo do Banzo inferior (Compressão)

$$N = 61,02kN \text{ (maior esforço à compressão)}$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$N_d = N \cdot \gamma = 61,02kN \cdot 1,4 = 85,43kN$$

$$L_{barra} = 71,40cm$$

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

$$140 = \frac{1,0 \times 71,40}{r} \rightarrow r = 0,51cm$$

Adotado: Perfil C 50 x 127 x 50 #2,65mm

a) Verificação da relação largura/espessura

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{máx} = 42$$

$$\frac{b}{t} = \frac{50,00}{2,65} = 18,87$$

Portanto: $\left(\frac{b}{t}\right)_{máx} > \left(\frac{b}{t}\right)$ **Ok** \rightarrow então $Q = 1,0$

$$\lambda = \frac{KL}{r} = \frac{1,0 \cdot 71,40}{1,53} = 46,67$$

$$\lambda = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{Qf_y}{E}} = \frac{\lambda}{3,14} \sqrt{\frac{1,0 \cdot 250 \cdot 10^6}{205 \cdot 10^9}} = 0,0111\lambda$$

$$\lambda = 0,0111 \cdot 46,67 = 0,52 \rightarrow \text{curva c} \quad \rho = 0,832$$

$$N_n = \rho \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y$$

$$N_n = 0,832 \cdot 1,0 \cdot (5,76 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 119,80kN$$

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot 119,80 = 107,82kN$$

$$N_n = 107,82kNm > 85,43kNm = N_d \quad \mathbf{OK}$$

4.2.3.1.4 Cálculo do Banzo Superior (Tração)

$$N = 58,62kN \text{ (maior esforço à tração)}$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$N_d = N \cdot \gamma = 58,62kN \cdot 1,4 = 82,07kN$$

a) Resistência da peça à tração

$$N_n = A_g \cdot f_y$$

$$N_n = (5,76 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 144kN$$

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot 144 = 129,60kN$$

$$N_n = 129,60kNm > 82,07kNm = N_d \quad \underline{\text{OK}}$$

4.2.3.2 Carregamento Horizontal

O carregamento apresentado neste cálculo está aplicado na extremidade superior da viga, conforme mostra a Figura 21.

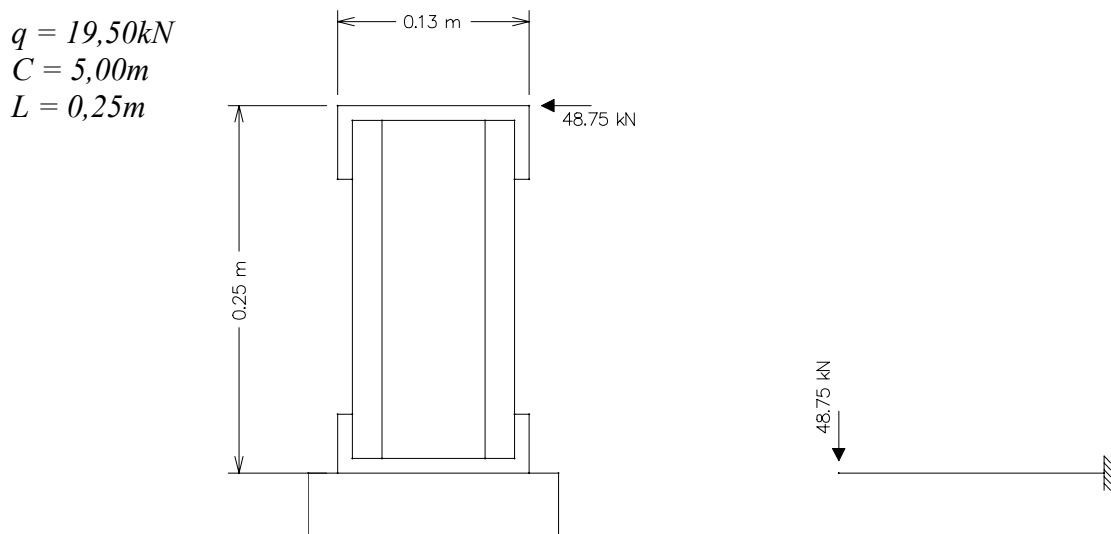


Figura 21 – Esforço Horizontal sobre a Viga.

Obs.: em função da treliça, o cálculo para verificação do esforço horizontal na viga, será realizado por semelhança de seção transversal. Neste caso considera-se como um perfil tubo retangular.

$$F = \frac{(q.C)}{2} = \frac{19,50kN.5,00m}{2} = 48,75kN$$

$$M = F.L = 48,75kN.0,25m = 12,19kNm$$

$$M_d = M.\gamma = 12,19kNm.1,4 = 17,07kNm$$

Cálculo do Z

$$b = 0,25m$$

$$h = 0,127m$$

$$t = 0,0317m$$

$$Z = \frac{bh^2}{4} \left[1 - \left(1 - \frac{2t_o}{b} \right) \left(1 - \frac{2t_f}{h} \right)^2 \right] = 120,96$$

$$M_{pl} = Z.f_y$$

$$M_{pl} = 120,96.10^{-6}.250.10^6 = 30kNm$$

$$M_{pl} = 30kNm > 17,07kNm = M_d \quad \text{OK}$$

4.3 ALTERAÇÕES NA TIPOLOGIA DO PILAR

O roteiro de cálculo para tipologias diferentes de pilar, segue o mesmo roteiro dos métodos aplicados para as vigas, sendo três tipos escolhidos: Perfil “I”, Caixão e Treliçado.

4.3.1 Pilar Tipo Perfil “I”

$$N = 40kN$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$N_d = N \cdot \gamma = 40kN \cdot 1,4 = 56kN$$

$$L = 6,00m = 600 \text{ cm}$$

No caso de galpão, a altura da seção da coluna varia de 1/15 a 1/30 da altura do pórtico.

Neste cálculo, será adotado 1/15 da altura.

Sendo altura (h) = 6.00m

$$1/15 \times 6 = 0,35m = \underline{\underline{350mm}}$$

Adotado Perfil I W 360 x 101,0 (H)

$$d = 357 \text{ mm}$$

$$A = 129,50 \text{ cm}^2$$

$$b_f = 255 \text{ mm}$$

$$I_x = 30.279 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 5.063 \text{ cm}^4$$

$$t_w = 10,5 \text{ mm}$$

$$W_x = 1.696,3 \text{ cm}^3$$

$$W_y = 397,1 \text{ cm}^3$$

$$t_f = 18,3 \text{ mm}$$

$$r_x = 15,29 \text{ cm}$$

$$r_y = 6,25 \text{ cm}$$

$$h = 320 \text{ mm}$$

$$Z_x = 1.888,9 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 606,1 \text{ cm}^3$$

Este perfil tem o menor raio de giração (r) em torno do eixo Y, portanto o cálculo da flambagem será neste eixo.

a) Parâmetro de Esbeltez

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad \text{adotado } K = 0,7$$

$$\lambda = \frac{0,7 \cdot 600}{6,25} = 67,2 \quad \underline{\underline{67,2 < 200 \text{ (norma)}}} \quad \underline{\underline{\text{Ok}}}$$

b) Verificação da relação largura/espessura

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{máx}} = 16 \quad \frac{b}{t} = \frac{255}{18,3} = 13,93$$

Portanto: $\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{máx}} > \left(\frac{b}{t}\right) \quad \underline{\underline{\text{Ok}}} \quad \text{portanto } Q = 1,0$

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{(Qf_y)}{E}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{(Qf_y)}{E}}$$

$$\lambda = \frac{67,20}{3,14} \sqrt{\frac{(1.250 \cdot 10^6)}{250 \cdot 10^9}} = 0,74$$

Conforme norma $d/t > 1,2 \rightarrow t \leq 40\text{mm}$

- flambagem em torno do eixo (y-y)
- curva de flambagem (b)
- $\rho = 0,762$

c) Resistência de Cálculo do perfil

$$N_n = \rho \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y \qquad \Phi_c = 0,90$$

$$N_n = 0,762 \cdot 1,0 \cdot (129,5 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 2466,97 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot 2466,97 = 2.220,77 \text{ kN}$$

$$N_n = 2220,77 \text{ kNm} > 56,00 \text{ kNm} = N_d \quad \underline{\text{OK}}$$

d) Verificação da Condição de Resistência da Seção

$$\frac{N_d}{N_{dres}} + \frac{M_{dx}}{M_{dxres}} + \frac{M_{dy}}{M_{dyres}} \leq 1$$

$$N = 56 \text{ kN}$$

$$N_{dres} = 0,9 \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 1,0 \cdot (129,50 \cdot 10^{-4}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 2913,75 \text{ kN}$$

$$M_{dx} = 48,75 \cdot 0,25 = 12,18 \text{ kNm} \cdot 1,4 = 17,05 \text{ kNm}$$

$$M_{dxres} = 0,9 \cdot Z \cdot f_y = 0,9 \cdot (1888 \cdot 10^{-6}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 425 \text{ kNm}$$

$$M_{dy} = 18,60 \text{ kNm} \cdot 1,4 = 26,04 \text{ kNm}$$

$$M_{dyres} = 0,9 \cdot Z \cdot f_y = 0,9 \cdot (606,10 \cdot 10^{-6}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 136,37 \text{ kNm}$$

$$\frac{56}{2.913,75} + \frac{17,05}{425} + \frac{26,04}{136,37} \leq 1$$

0,25 ≤ 1 **Ok** (Satisfaz a condição)

e) Verificação da Condição de Estabilidade

$$\frac{N_d}{N_{dres}} + \frac{M_{dx}}{M_{dxres}} \times \frac{C_{mx}}{1 - \frac{N_d}{0,73N_{crx}}} + \frac{M_{dy}}{M_{dyres}} \times \frac{C_{my}}{1 - \frac{N_d}{0,73N_{cry}}} \leq 1$$

$$N = 56kN$$

$$N_{dres} = 0,9 \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 1,0 \cdot (129,50 \cdot 10^{-4}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 2913,75kN$$

$$M_{dx} = 48,75 \cdot 0,25 = 12,18kNm \cdot 1,4 = 17,05kNm$$

$$M_{dxres} = 0,9 \cdot Z \cdot f_y = 0,9 \cdot (1888 \cdot 10^{-6}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 425kNm$$

$$C_m = 0,85$$

$$M_{dy} = 18,60kNm \cdot 1,4 = 26,04kNm$$

$$M_{dyres} = 0,9 \cdot Z \cdot f_y = 0,9 \cdot (606,10 \cdot 10^{-6}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 136,37kNm$$

$$N_{crx} = A_g \frac{\pi E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{(129,5 \cdot 10^{-4}) \cdot 3,14 \cdot (205 \cdot 10^9)}{\left(\frac{1 \cdot (600 \cdot 10^{-2})}{(15,29 \cdot 10^{-2})}\right)^2} = 5.413,34kN$$

$$N_{cry} = A_g \frac{\pi E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{(129,5 \cdot 10^{-4}) \cdot 3,14 \cdot (205 \cdot 10^9)}{\left(\frac{1 \cdot (600 \cdot 10^{-2})}{(6,25 \cdot 10^{-2})}\right)^2} = 904,50kN$$

$$\frac{56}{2.913,75} + \frac{17,05}{425} \times \frac{0,85}{1 - \frac{56}{0,73 \times 5.413,34}} + \frac{26,04}{136,37} \times \frac{0,85}{1 - \frac{56}{0,73 \times 904,5}} \leq 1$$

$$0,019 + 0,035 + 0,18 \leq 1$$

$$0,24 \leq 1 \quad \text{Ok} \quad \text{(Satisfaz a condição)}$$

4.3.2 Pilar Tipo Perfil “Caixão”

$$N = 40kN$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$N_d = N \cdot \gamma = 40kN \cdot 1,4 = 56kN$$

$$L = 6,00m = 600 \text{ cm}$$

Neste cálculo, será adotado 1/20 da altura.

Sendo altura (h) = 6.00m

$$1/20 \times 6 = 0,3m = \underline{\underline{300mm}}$$

Adotado Perfil 2 x C 25 x 85 x 300 x 85 x 25 # 4.76mm

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A = 44,75 \text{ cm}^2$$

$$b = 85 \text{ mm}$$

$$P = 35,20 \text{ Kg/m}$$

$$d = 25 \text{ mm}$$

a) Momentos de Inércia

$$I_x = \frac{B.H^3}{12} - \frac{h.b^3}{12} = \frac{17.30^3}{12} - \frac{16,04.29,04^3}{12} = 5514,95cm^4$$

$$I_y = \frac{H.B^3}{12} - \frac{h.b^3}{12} = \frac{30.17^3}{12} - \frac{29,04.16,04^3}{12} = 2295,65cm^4$$

b) Raio de Giração

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{5514,95}{44.75}} = 11,10cm$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2295,65}{44.75}} = 7,16cm$$

c) Parâmetro de Esbeltez

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad \text{adotado } K = 0,7$$

$$\lambda = \frac{0,7 \times 600}{7,16} = 58,65 \quad \underline{\underline{58,65 < 200 (norma)}} \quad \underline{\underline{Ok}}$$

d) Verificação da relação largura/espessura

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\max} = 1,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 40$$

$$\frac{b}{t} = \frac{160,70}{4,76} = 33,77$$

Portanto: $\left(\frac{b}{t}\right)_{máx} > \left(\frac{b}{t}\right)$ **Ok** portanto $Q = 1,0$

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{(Qf_y)}{E}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{(Qf_y)}{E}}$$

$$\lambda = \frac{25,36}{3,14} \sqrt{\frac{(1 \times 250 \cdot 10^6)}{205 \cdot 10^9}} = 0,65$$

- flambagem em torno do eixo (y-y)
- curva de flambagem (a)
- $\rho = 0,866$

e) Resistência de Cálculo do perfil

$$N_n = \rho \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y \qquad \Phi_c = 0,90$$

$$N_n = 0,866 \cdot 1,0 \cdot (44,75 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 968,83 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot 968,83 = 871,94 \text{ kN}$$

$$N_n = 871,94 \text{ kNm} > 56,00 \text{ kNm} = N_d \qquad \text{OK}$$

f) Módulo de Resistência Elástica

$$W_x = \frac{I_x}{d_1} = \frac{5514,95}{15} = 367,63 \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{I_y}{d_2} = \frac{2295,65}{8,5} = 270,07 \text{ cm}^3$$

g) Módulo de Resistência Plástica

$$Z_x = 1,12W_x = 1,12.367,63 = 411,75\text{cm}^3 \quad Z_y = 1,12W_y = 1,12.270,07 = 302,47\text{cm}^3$$

h) Verificação da Condição de Resistência da Seção

$$\frac{N_d}{N_{dres}} + \frac{M_{dx}}{M_{dxres}} + \frac{M_{dy}}{M_{dyres}} \leq 1$$

$$N = 56\text{kN}$$

$$N_{dres} = 0,9 \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 1,0 \cdot (44,75 \cdot 10^{-4}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 1.006,87\text{kN}$$

$$M_{dx} = 48,75 \cdot 0,25 = 12,18\text{kNm} \cdot 1,4 = 17,06\text{kNm}$$

$$M_{dxres} = 0,9 \cdot Z_x \cdot f_y = 0,9 \cdot (411,75 \cdot 10^{-6}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 92,64\text{kNm}$$

$$M_{dy} = 18,60\text{kNm} \cdot 1,4 = 26,04\text{kNm}$$

$$M_{dyres} = 0,9 \cdot Z_y \cdot f_y = 0,9 \cdot (302,47 \cdot 10^{-6}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 68,05\text{kNm}$$

$$\frac{56}{1.006,87} + \frac{17,06}{92,64} + \frac{26,04}{68,05} \leq 1$$

$$0,62 \leq 1 \quad \text{Ok} \quad \underline{\text{Satisfaz a condição}}$$

i) Verificação da Condição de Estabilidade

$$\frac{N_d}{N_{dres}} + \frac{M_{dx}}{M_{dxres}} \cdot x \frac{C_{mx}}{1 - \frac{N_d}{0,73N_{crx}}} + \frac{M_{dy}}{M_{dyres}} \cdot x \frac{C_{my}}{1 - \frac{N_d}{0,73N_{cry}}} \leq 1$$

$$N_d = 56\text{kN}$$

$$N_{dres} = 0,9 \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot 1,0 \cdot (44,75 \cdot 10^{-4}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 1.006,87 kN$$

$$M_{dx} = 48,75 \cdot 0,25 = 12,18 kNm \cdot 1,4 = 17,06 kNm$$

$$M_{dxres} = 0,9 \cdot Z \cdot f_y = 0,9 \cdot (411,75 \cdot 10^{-6}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 92,64 kNm$$

$$M_{dy} = 18,60 kNm \cdot 1,4 = 26,04 kNm$$

$$M_{dyres} = 0,9 \cdot Z \cdot f_y = 0,9 \cdot (302,47 \cdot 10^{-6}) \cdot (250 \cdot 10^6) = 68,05 kNm$$

$$C_m = 0,85$$

$$N_{crx} = A_g \frac{\pi E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{(44,75 \cdot 10^{-4}) \cdot 3,14 \cdot (205 \cdot 10^9)}{\left(\frac{1 \cdot (600 \cdot 10^{-2})}{(11,10 \cdot 10^{-2})}\right)^2} = 985,87 kN$$

$$N_{cry} = A_g \frac{\pi E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{(44,75 \cdot 10^{-4}) \cdot 3,14 \cdot (205 \cdot 10^9)}{\left(\frac{1 \cdot (600 \cdot 10^{-2})}{(7,16 \cdot 10^{-2})}\right)^2} = 410,20 kN$$

$$0,72 \leq 1$$

Ok **(Satisfaz a condição)**

4.3.3 Pilar Tipo Treliçado

4.3.3.1 Cálculo das diagonais (Compressão)

Dados:

$$L = 6,00 m$$

$$\lambda = 140$$

$$N = 2.20kN$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$N_d = N \cdot \gamma = 2,20kN \cdot 1,4 = 3,08kN$$

$$L_{barra} = 0,46m$$

$$L_{barra} = 0,46m - 0,05 \text{ (solda)}$$

$$L_{barra} = 0,41m = 41cm$$

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

$$140 = \frac{1,0 \cdot 41}{r} \rightarrow r = 0,292cm$$

Adotado: Perfil Cantoneira 31,75 x 31,75 # 3,17mm

b) Verificação da relação largura/espessura

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{m\acute{a}x} = 13$$

$$\frac{b}{t} = \frac{31,75}{3,17} = 10,02$$

Portanto: $\left(\frac{b}{t}\right)_{m\acute{a}x} > \left(\frac{b}{t}\right)$ **Ok** \rightarrow então $Q = 1,0$

$$\lambda = \frac{KL}{r} = \frac{1,0 \cdot 41}{0,64} = 64$$

$$\lambda = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{Qf_y}{E}} = \frac{\lambda}{3,14} \sqrt{\frac{1,0 \cdot 250 \cdot 10^6}{205 \cdot 10^9}} = 0,0111\lambda$$

$$\lambda = 0,0111 \cdot 64 = 0,71 \rightarrow \rho = 0,712$$

$$N_n = \rho \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y$$

$$N_n = 0,712 \cdot 1,0 \cdot (1,93 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 34,35 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot 34,35 = 30,92 \text{ kN}$$

Neste caso são consideradas duas unidades (cantoneiras), então:

$$\phi \cdot N_n = 2 \cdot 30,92 \text{ kN} = 61,84 \text{ kN}$$

$$N_n = 61,84 \text{ kNm} > 3,08 \text{ kNm} = N_d \quad \mathbf{OK}$$

4.2.3.1.2 Cálculo das diagonais (Tração)

$$N = 2,20 \text{ kN}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 1,4$$

$$N_d = N \cdot \gamma = 2,20 \text{ kN} \cdot 1,4 = 3,08 \text{ kN}$$

b) Resistência da peça à tração

$$N_n = A_g \cdot f_y$$

$$N_n = (1,93 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 48,25 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot 48,25 = 43,43 \text{ kN}$$

Neste caso são consideradas duas unidades (cantoneiras):

$$\phi \cdot N_n = 2 \cdot 43,43 \text{ kN} = 86,86 \text{ kN}$$

$$N_n = 86,86 \text{ kNm} > 3,08 \text{ kNm} = N_d \quad \mathbf{OK}$$

4.2.3.1.3 Cálculo do Banzo (Compressão)

$$N = 42kN$$

$$f_y = 250MPa$$

$$f_u = 400MPa$$

$$\gamma = 1,4$$

$$N_d = N \cdot \gamma = 42kN \cdot 1,4 = 58,80kN$$

$$L_{barra} = 46cm$$

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

$$140 = \frac{1,0 \cdot 46}{r} \rightarrow r = 0,33cm$$

Adotado: Perfil C 50 x 200 x 50 #2,25mm

b) Verificação da relação largura/espessura

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{m\acute{a}x} = 42$$

$$\frac{b}{t} = \frac{50,00}{2,25} = 22,20$$

Portanto: $\left(\frac{b}{t}\right)_{m\acute{a}x} > \left(\frac{b}{t}\right)$ **Ok** → então $Q = 1,0$

$$\lambda = \frac{KL}{r} = \frac{1,0 \cdot 46}{1,41} = 32,62$$

$$\lambda = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{Qf_y}{E}} = \frac{\lambda}{3,14} \sqrt{\frac{1,0 \cdot 250 \cdot 10^6}{205 \cdot 10^9}} = 0,0111\lambda$$

$$\lambda = 0,0111 \cdot 32,62 = 0,362 \rightarrow \text{curva c} \quad \rho = 0,921$$

$$N_n = \rho \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y$$

$$N_n = 0,921 \cdot 1,0 \cdot (6,63 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 152,65 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot 152,65 = 137,40 \text{ kN}$$

$$N_n = 137,40 \text{ kNm} > 58,80 \text{ kNm} = N_d \quad \mathbf{OK}$$

5 ANÁLISE E ESCOLHA DA ESTRUTURA OTIMIZADA

Após desenvolver toda memória de cálculo, realizando as verificações para cada situação, constatou-se que tanto a viga quanto o pilar apresentaram melhor desempenho, principalmente na questão peso, no sistema treliçado. A figura 22 define a disposição da viga treliçada e a figura 23 apresenta a disposição do pilar.

Com esta questão resolvida, parte-se para a definição da fixação entre estes elementos. Posteriormente à análise feita constatou-se que para fixação, entre pilar e viga, emendas de vigas, o sistema ideal é a utilização de solda. No item que segue, apresenta-se o cálculo necessário para atender a este requisito. Em relação à fixação do pilar nas fundações, optou-se por utilizar ganchos de ancoragem num sistema semelhante ao parafusado.

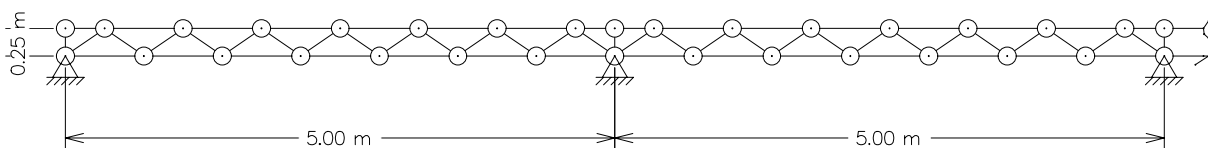


Figura 22 – Disposição do treliçamento da viga.

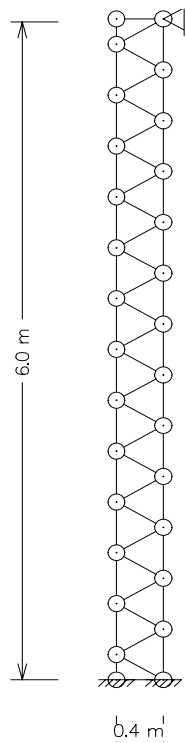


Figura 23 – Disposição do treliçamento do pilar

CONSUMO DE AÇO

Os quadros a seguir resumem o consumo de aço por elemento estrutural.

Quadro 3 – Consumo de aço nos pilares

PROJETO ORIGINAL			PROJETO OTIMIZADO		
ESPECIFICAÇÃO	COMPR	PESO	ESPECIFICAÇÃO	COMPR	PESO
(Material)	(m)	(kg)	(Material)	(m)	(kg)
“C” 50x200x50#3,00	276	1896	“C” 50x200x50#2,65	274	1425
Canton. 40x40#2,65	280	450	Canto 31,75x31,75#3,17	549	820
Canton. 2.1/2x1/4	50	300	xxxxxxxxxx	xxxx	xxxx
TOTAL		2.646	TOTAL		2.245

Quadro 4 – Consumo de aço nas vigas

PROJETO ORIGINAL			PROJETO OTIMIZADO		
ESPECIFICAÇÃO (Material)	COMPR (m)	PESO (kg)	ESPECIFICAÇÃO (Material)	COMPR (m)	PESO (kg)
“C” 50x150x50#2,65	200	1.005	“C” 50x127x50#2,65	240	1.080
“C” 40x140x40#2,65	16	72	Canto 31,75x31,75#3,17	290	435
Canton. 40x40#2,65	300	480	xxxxxxxxxx	xxxx	xxxx
TOTAL		1.557	TOTAL		1.515

Peso Geral (Projeto Original) = 4.203 kg

Peso Geral (Projeto Otimizado) = 3.760 kg

Portanto, no somatório da estrutura obteve-se uma redução de 10,5% no peso total.

5.1 CÁLCULO DAS FIXAÇÕES

A questão das fixações é tratada de maneira especial. Os tipos pertencentes à uma estrutura desta tipologia são: a união entre pilar/fundação, viga/pilar e viga/viga. Analisando as ligações soldadas e parafusadas; por questão de praticidade utilizou-se a fixação com parafusos (Chumbadores) na base entre a fundação e o pilar, e já para ligação entre viga/pilar e emendas de vigas utilizou-se o sistema de solda. O cálculo que será apresentado à seguir é referente à fixação dos elementos escolhidos e que farão parte da nova formação estrutural.

5.1.1 Fixação na Viga

5.1.1.1 Banzos e Diagonais

Para a realização desta composição será utilizada solda de filete, com o $b = 3\text{mm}$ e Eletrodo E70.

Sendo: $b = 3\text{mm}$

$$t = 0,7 \cdot b = 0,7 \cdot 3 = 21 \text{ mm}$$

Banzos – Perfil C 50 x 127 x 50 # 2,65mm

Diagonais - Perfil Cantoneira 31,5 x 31,5 # 3,17mm

Resistência de cálculo do perfil

(Na área bruta)

$$R_n = A_g \cdot f_y \qquad \Phi_c = 0,90$$

$$R_n = 0,9 \cdot (1,93 \cdot 10^{-4}) \cdot 250 \cdot 10^6 = 43,43 \text{ kN}$$

$$R_n = 43,43 \text{ kNm} > 38,22 \text{ kNm} = R_d \quad \underline{\text{OK}}$$

(Na área efetiva)

$$R_n = A_e \cdot f_u \qquad \Phi_c = 0,75$$

$$A_e = C_t \cdot A_n = 0,85 \cdot (1,93 \cdot 10^{-4}) = 1,64 \cdot 10^{-4}$$

$$R_n = 0,75 \cdot (1,64 \cdot 10^{-4}) \cdot 400 \cdot 10^6 = 49,20 \text{ kN}$$

$$R_n = 49,20 \text{ kNm} > 38,22 \text{ kNm} = R_d \quad \underline{\text{OK}}$$

Resistência de Cálculo do Metal Solda

$$R_n = (0,6 \cdot f_y) \cdot A_w \quad \Phi_c = 0,75$$

$$A_w = t \cdot L = 2,1 \cdot \Delta L$$

$$R_n = 0,75 \cdot (0,6 \cdot 485 \cdot 10^{-6}) \cdot (2,10 \cdot \Delta L \cdot 10^{-6}) = 458,33 \Delta L$$

$$R_n = N_d$$

$$0,458 \Delta L = 23,73 \cdot 10^3 = 51,77 \text{ mm}$$

Resistência de Cálculo do Metal Base

$$R_n = (0,6 \cdot f_y) \cdot A_{mb} \quad \Phi_c = 0,9$$

$$A_{mb} = b \Delta L$$

$$R_n = 0,75 \cdot (0,6 \cdot 250 \cdot 10^{-6}) \cdot (3 \cdot \Delta L \cdot 10^{-6}) = 405 \Delta L$$

$$R_n = N_d$$

$$405 \Delta L = 23,73 \cdot 10^3 = 58,59 \text{ mm}$$

Comprimento dos Cordões

$$a = \frac{L(C-x)}{C} = 51,77 \cdot \frac{(31,50 - 8,9)}{31,50} = 37,14 \text{ mm}$$

$$b = \frac{Lx}{C} = 51,77 \cdot \frac{8,9}{31,50} = 14,62 \text{ mm}$$

adotado: a = 40mm b = 20mm

5.2 Cálculo da Solda Viga/Viga (emenda no topo)

$$\Delta L = 127mm$$

$$t = 5mm$$

$$A_w = t\Delta L = 5.127 = 635mm^2$$

$$R_n = (0,6.f_y).A_w \quad \Phi_c = 0,9$$

$$R_n = 0,9.0,6.(6,35.10^{-4}).(250.10^6) = 85,72kN$$

$$R_n = (0,6.f_y).A_w \quad \Phi_c = 0,75$$

$$R_n = 0,75.0,6.(6,35.10^{-4}).(485.10^6) = 138,58kN$$

adotado: $R_n = 85,72$ $R_n = 85,72kNm > 61,14kNm = R_d$ **OK**

5.2.1 Cálculo da Solda Viga/Pilar (laterais)

$$\Delta L = 200mm$$

$$t = 3mm$$

$$A_w = t\Delta L = 1000mm^2$$

$$R_n = (0,6.f_y).A_w \quad \Phi_c = 0,9$$

$$R_n = 0,9.0,6(10.10^{-4}).(250.10^6) = 135kN$$

$$R_n = (0,6.f_y).A_w \quad \Phi_c = 0,75$$

$$R_n = 0,75.0,6(10.10^{-4}).(485.10^6) = 218,25kN$$

adotado: $R_n = 135kN$

$R_n = 135kNm > 48,75kNm = R_d$ **OK**

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aço material em constante evolução, tanto em qualidade quanto em mercado proporciona alguns fatores que o classificam como adaptável a qualquer tipo de obra, permitindo melhor organização no canteiro; destaca-se por vencer grandes vãos com menor peso. É importante lembrar que além do fator segurança, deve-se considerar o fator custo como um dos objetivos quando se fala em construção.

Sendo estes fatores primordiais, buscou-se neste estudo avaliar condições favoráveis que permitam um melhoramento do fator custo de um modo geral. Onde se utiliza um material que possui um bom padrão de qualidade, com certeza tem-se excelentes resultados.

Dessa forma, tendo como base o projeto de galpão constituído em aço desde a estrutura até a cobertura, os objetivos principais foram cumpridos, possibilitando destaque para uma otimização de maneira geral, onde se obteve um ganho na faixa de 10% (dez por cento) de redução de material, conseqüentemente do custo. Com base nos valores reais do custo do material e sua fabricação, esta redução representa 3% (três por cento) do custo global da obra.

Assim, acredita-se ser possível avaliar situações e condições para que se possa proporcionar ganhos consideráveis quando se fala em construção.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEIR, A. F. De Paris. **Tecnologia da soldagem de ferros fundidos**, Ed. UFSM, Santa Maria, 2003.
- ARRIVABENE, V. **Resistência dos Materiais**, Ed. Makron Books, 1ed., São Paulo, 1994, 398p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações: NBR 6123**. Rio de Janeiro, 1988, 66p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios (método dos estados limites): NBR 8800**. Rio de Janeiro, 1986, 129p.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual Técnico: CBCA**. São Paulo, 2007.
- INDÚTRIA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS FUCHS. **Manual Técnico: IMASA**. Ijuí, 1973.
- METÁLICA, **Revista Construção**, Setembro/Outubro, 2001, nº.50.
- PINHEIRO, A. C. F. B. **Estruturas Metálicas – cálculos, detalhes, exercícios e projetos**, Ed. Edgard Blücher, 1ed., São Paulo, 2001, 300p.
- PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de aço**, Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos, 7ed., Rio de Janeiro, 2000, 332p.
- TAVARES, L. V.; CORREA F. N. **Optimização Linear e não linear – conceitos, métodos e algoritmos**, ed. Fundação Calouste Gulbekian, 2ed., Lisboa, 1999, 453p.